



DLR Institut für Fahrzeugkonzepte



Deutsches Zentrum  
DLR für Luft- und Raumfahrt



## **STROM – Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Materialintensitäten der Elektromobilität**

Arbeitspapier der STROMbegleitung  
**Forschungslandschaft Elektrische Maschine**

Benjamin Frieske

DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

August 2014



<b>1</b>	<b>STROMbegleitung.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Forschungslandschaft „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ .....</b>	<b>4</b>
2.1	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „ELEKTRISCHE MASCHINE IM ANTRIEBSSTRANG ELEKTRIFIZIERTER PKW“ .....	6
2.2	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „E-MASCHINE-BAUFORMEN“ .....	10
2.3	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „SYNCHRONMASCHINE“ .....	13
2.4	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „ASYNCHRONMASCHINE“ .....	17
2.5	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „RELUKTANZMASCHINE“ .....	20
2.6	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „TRANSVERSALFLUSSMASCHINE“ .....	22
2.7	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „STATOR/ROTOR“ .....	24
2.8	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „WICKLUNGEN“ .....	28
2.9	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „THERMOMANAGEMENT“ .....	30
2.10	PATENT-/ PUBLIKATIONSANALYSE „PERMANENTMAGNETE“ .....	33
<b>3</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>35</b>

# 1 STROMbegleitung

Die „Begleitforschung zu Technologien, Perspektiven und Ökobilanzen der Elektromobilität“ (im Folgenden „STROMbegleitung“ genannt) wird im Rahmen der im Jahr 2009 veröffentlichten BMBF-Förderbekanntmachung Schlüsseltechnologien für die Elektromobilität (STROM) durchgeführt und dient der wissenschaftlichen Begleitung und Beforschung der im Rahmen dieser Bekanntmachung gestarteten F&E-Projekte. Das BMBF initiierte mit der Förderbekanntmachung STROM Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich Gesamtfahrzeugsysteme, Batterieentwicklung und -integration, Energiemanagement sowie der entsprechenden Werkstoff- und Materialforschung. STROM war, nach Fördervorhaben im Rahmen des Konjunkturpaketes II, die erste Maßnahme zur Umsetzung des „Nationalen Entwicklungsplans Elektromobilität“. Die Themen orientieren sich an Empfehlungen externer Experten und sind konsistent mit den Inhalten und Zielen der Arbeitsgruppen „Antriebstechnologie und Fahrzeugintegration“ und „Batterietechnologie“ der im Jahr 2010 ins Leben gerufenen „Nationalen Plattform Elektromobilität“ (NPE)<sup>1</sup>.

## Ziele der STROMbegleitung

Im Rahmen der STROMbegleitung werden unterschiedliche Ziele verfolgt, die zusammen ein umfassendes Bild über den Stand der Technik und die Potenziale vielversprechender technologischer Lösungen der Elektromobilität ermöglichen sollen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Identifikation und Analyse aktueller und zukünftiger Trends der Fahrzeugkonzept- und Technologieentwicklung sowie in der Einordnung der deutschen Aktivitäten in den internationalen Kontext. Im Detail orientiert sich die Begleitforschung an den folgenden Forschungsfragen:

- Welche generellen technologischen und marktlichen Trends zeichnen sich bei Schlüsseltechnologien der Elektromobilität sowie elektrifizierten Fahrzeugkonzepten ab?
- Was ist der State-of-the-art bei den Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und welches zukünftige Entwicklungspotenzial besitzen diese?
- Wie tragen die im Rahmen der STROM-Ausschreibung geförderten Projekte zur Technologieentwicklung bei? Welche Herausforderungen, Grenzen und Hürden bestehen bei der Entwicklung spezieller technischer Lösungen?
- Welchen Stand hat die Technologieentwicklung im nationalen und internationalen Vergleich?
- Welche Förderschwerpunkte können in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden und welche Zielgruppen werden adressiert?
- Welche ökonomischen, ökologischen und technischen Auswirkungen haben die Schlüsseltechnologien auf das zukünftige Gesamtsystem Fahrzeug?
- Wie sehen die Materialintensitäten der Schlüsseltechnologien und Fahrzeugkonzepte aus?

Die wissenschaftlich fundierte Beantwortung der genannten Aspekte und Fragen wird es u.a. erlauben, das Förderprogramm STROM und die beforschten Schlüsseltechnologien in die internationalen Forschungsaktivitäten einzuordnen und Empfehlungen für die weitere Ausgestaltung staatlicher Förderprogramme und für andere politische Entscheidungen zu geben.

---

<sup>1</sup> Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) hat zum Ziel, den Markteintritt innovativer Elektrofahrzeuge in systemischer, markt-orientierter und technologieoffener Form zu beschleunigen. Deutschland soll dabei bis zum Jahr 2020 Leitanbieter und Leitmarkt der Elektromobilität werden.

## Aufgaben der Projektpartner zur STROMbegleitung

Das DLR Institut für Verkehrsforschung (DLR-VF, Berlin) bearbeitet ausgewählte Aspekte des Technologie-Monitorings und beteiligt sich am Arbeitspaket zu den Perspektiven der Elektromobilität (Roadmaps, Förderbindungen) in den USA. Das DLR Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK, Stuttgart) ist hauptverantwortlich für die Durchführung des globalen Technologie-Monitorings und die Erstellung technologischer Trend- und Marktanalysen. Das Wuppertal Institut analysiert Förderprogramme, Perspektiven und Marktentwicklungen in den Regionen OECD-Amerika/USA, OECD-Asien/Japan, OECD-Europa/Europäische Union, China, Rest der Welt/Indien und erarbeitet zudem detaillierte Materialintensitätsanalysen zu Schlüsseltechnologien der Elektromobilität und zukünftigen Fahrzeugkonzepten.

## 2 Forschungslandschaft „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Abbildung der aktuellen Forschungslandschaft im Bereich „Elektrische Maschine“ im speziellen Umfeld der Elektromobilität wurden bibliometrische Analysen von globalen Patent- und Publikationsdaten über einen Zeitraum von 2000 – 2012 durchgeführt. Hierfür sind die zugrundeliegenden (Meta-) Informationen referierter wissenschaftlicher Publikationen sowie veröffentlichter Patente in dezidierten Datenbanken per Indikatoren erfasst, strukturiert und harmonisiert worden, um so sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/ Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/ Publikationen) über Text und Data Mining Funktionen durchführen zu können.

Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung 54.687 Publikationen und 93.435 Patente im Bereich Hybrid- und Elektrofahrzeug erfasst, wovon 3.093 Publikationen und 59.098 Patente als für E-Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW relevant bewertet und deshalb für die nachfolgende qualitative Inhaltsanalyse herangezogen wurde.

Ziel der Analysen ist zum einen die Identifikation und der Vergleich internationaler Forschungsschwerpunkte und Entwicklungstrends in Bezug auf die Elektrische Maschine als Schlüsseltechnologie der Elektromobilität sowie einzelner, ausgewählter Komponenten und Bauteile. Hierbei wird insbesondere auf diejenigen Bauteile fokussiert, die von nationalen und internationalen Experten als besonders relevant für die technische Weiterentwicklung eingeschätzt wurden und an Inhalte des STROM-Programms anknüpfen. Dies sind im Rahmen dieser Untersuchung z.B. Stator und Rotor sowie Permanentmagnete. Zum anderen dient die Analyse dazu, führende Institutionen aus Industrie und Wissenschaft sowie Innovationsnetzwerke und -dynamiken zu identifizieren und letztlich einen Vergleich von Wettbewerbsfähigkeit und technologischer Position unterschiedlicher Länder und Weltregionen zu ermöglichen.

In den Datenbanken zur E-Maschine sind insgesamt 1.430.393 Datenpunkte über verschiedene Dimensionen auswertbar. Die Dimensionen umfassen z.B.:

- Research field
- Technology
- Parameter
- Title
- Abstract
- Keyword
- Citation
- Publication year
- Applicant/ Inventor/ Institution/ Author
- Country/ Worldregion
- International Patent Classification (IPC)

Die Patentanalyse dient als originäres Instrument der strategischen Unternehmensführung der Untersuchung wettbewerbsrelevanter Aktivitäten in definierten Technologiefeldern und zielt als Planungs- und Entscheidungshilfe auf die Entwicklung von Handlungsempfehlungen für das Technologie-Management ab. Hierfür wird der enge Zusammenhang zwischen Investitionen im Bereich Forschung und Entwicklung (FuE) als Input-Faktor und Patentanmeldungen als Output-Faktor herangezogen. Patente beinhalten per Definition Erfindungen (Inventionen), die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen und in zukünftigen Produkten in konkreter Anwendung (Innovation) mit wirtschaftlichem Interesse Verwendung finden können.

Neben der Nutzung als strategisches Planungstool ist die Patentanalyse ebenfalls geeignet, um technologieorientierte Wettbewerbs- und Trendanalysen darzustellen, wie es im Rahmen dieses Arbeitspapiers durchgeführt wird. Patentinformationen werden damit als Indikatoren genutzt, um technologische Trends und Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren sowie die relative Stärke von Technologieposition und Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich von Institutionen, Ländern und/oder Weltregionen zu bewerten.

Neben der Analyse angemeldeter Patente kann auch die Analyse themenspezifisch rezensierter Publikationen als Indikator für F&E-Aktivität interpretiert werden. Beide Methoden sind im Rahmen des Abschlussberichts in Kombination zu verwenden, um ein gesamtheitliches und objektives Bild von internationalen Aktivitäten im Bereich Forschung und Entwicklung aufzuzeigen. Während Publikationen als Medium zur Dokumentation wissenschaftlicher Leistungen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten entstammen, werden Patente aufgrund des Aspekts der wirtschaftlichen Verwertung in konkreten Anwendungen eher der Industrie zugeordnet.

Die Methodik im Bereich der Patent- und Publikationsanalyse wurde in folgenden Schritten durchgeführt:

1. Identifikation und Definition von Technologiefeldern auf System, Komponenten und Bauteilebene (IPC-Klassen, Stichworte, Expertenaussagen)
2. Definition der Such- und Recherchestrategie
3. Datenerhebung
4. Strukturierung und Harmonisierung der Rohdaten
5. Aufbau von Technologie-Datenbanken
6. Analyse der Patent(meta-)informationen
7. Analyse der Patentinhalte mittels Text und Data Mining und Zuordnung zu Forschungs- und Technologiefeldern
8. Bestimmung der relativen Patentposition je Weltregion und Technologiefeld
9. Bestimmung der Patentaktivität und Technologiedynamik je Weltregion und Technologiefeld
10. Bestimmung der Forschungsschwerpunkte je Weltregion und Technologiefeld

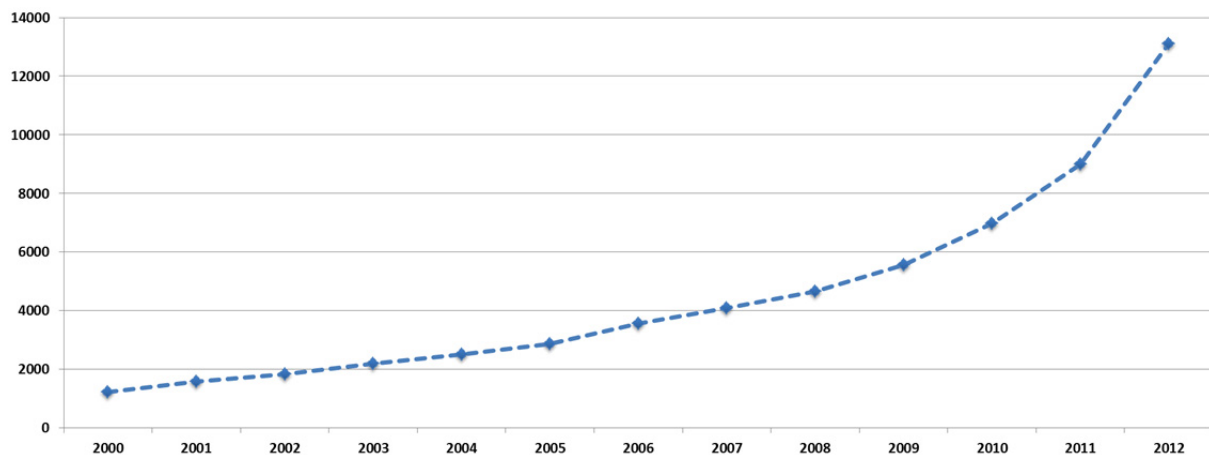
Zu den Treibern der Elektromobilität und innovativer Technologien für elektrifizierte PKW zählen insbesondere Länder wie Japan, USA, Deutschland und Frankreich, die mit historisch gewachsen starker Automobil- und Zuliefererindustrie große Anteile an den weltweiten FuE-Investitionen haben und damit auch im Bereich Patente und Publikationen signifikante Aktivitäten zeigen. Länder wie Indien oder China sind zwar aufgrund der schieren Größe des Markts und des Marktpotenzials von Bedeutung, jedoch (noch) keine Vorreiter in der technologischen Entwicklung. Insbesondere bei China aber wird im Rahmen dieser Analysen gezeigt, dass die Innovationsdynamik auch im Bereich von Schlüsseltechnologien der Elektromobilität seit einigen Jahren stark zunimmt.

Im Folgenden werden beispielhaft einige Auswertungen entlang der verschiedenen Dimensionen dargestellt.

## 2.1 Patent-/ Publikationsanalyse „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“

Zur Analyse der Patentanmeldungen im Bereich „Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ wurde eine dezidierte Patentrecherche in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts (EPO) durchgeführt. Hierzu sind relevante IPC-Klassen herangezogen (z.B. B60L, B60K, B60W, H02K, H02W, H01F) und z.T. mit einer Stichwortsuche kombiniert worden.

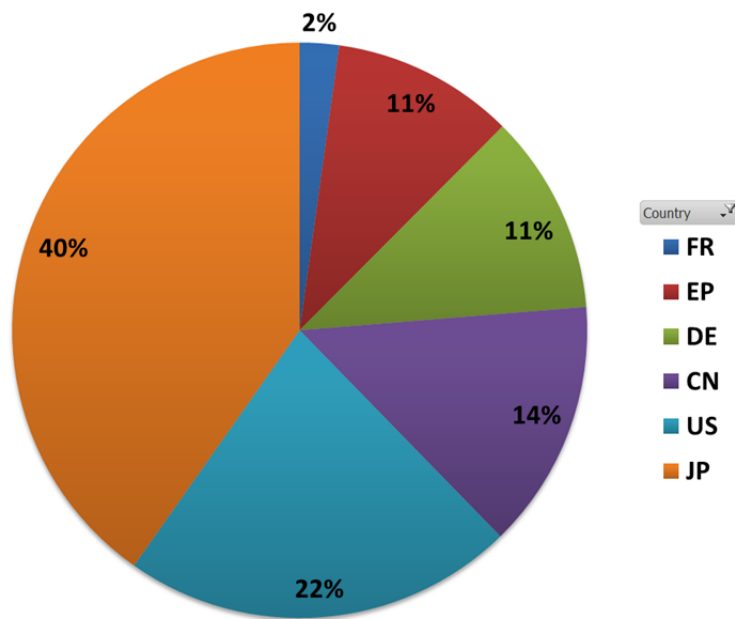
Insgesamt wurden in den für diese Auswertung relevanten Weltregionen Japan (JP), USA (US), China (CN), Europa (EP), Deutschland (DE) und Frankreich (FR) ca. 59.000 Patente veröffentlicht. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist konnte der Output an Patenten über die Jahre kontinuierlich gesteigert werden und erreicht das absolute Maximum im Jahr 2012, eine Steigerung von insgesamt 1.080% im Vergleich zum Basisjahr 2000. Eine starke Dynamik ist insbesondere ab dem Jahr 2010 zu erkennen, so dass sich der Output an Patentschriften innerhalb der folgenden beiden Jahre nochmals fast verdoppelt und von ca. 7.000 Patenten auf über 13.000 ansteigt.



**Abbildung 1: Anzahl Patente im Bereich "Elektrische Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW", 2000-2012**

Die überwiegende Mehrzahl der Patente, die sich auf Erfindungen im Bereich „E-Maschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ im Zeitraum von 2000 bis 2012 beziehen und über den jeweils aktuellen Stand der Technik hinausgehen, wurde in Japan angemeldet (40%), gefolgt von den USA (22%) und China (14%), wie in folgender Abbildung 2 zu sehen ist.

Patentanmeldungen in Europa und speziell in Deutschland haben mit 6.065 bzw. 6.642 einen Anteil von jeweils 11%. Nur 1.303 Patentschriften wurden auf dem französischen Markt für IP („Intellectual Property“) publiziert.



**Abbildung 2: Anteil Patente nach Weltregion**

Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich E-Maschine nach Zeit über die Jahre 2000 bis 2012 mit Fokus auf die untersuchten Weltregionen sind relativ klare Trends zu erkennen (siehe Abbildung 3): Während der japanische IP-Markt in jedem Jahr mit Abstand am meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte und die USA bis auf das Jahr 2012 durchgehend auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes kontinuierlich an und löst Deutschland bzw. Europa ab dem Jahr 2009 von Platz 3 ab. Diese Entwicklung gipfelt darin, dass die USA im Jahr 2012 erstmals knapp vom zweiten Platz verdrängt werden.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 580% zu verzeichnen (1.211 zu 6.965), wobei insbesondere Japan die schon im Jahr 2000 führende Position in 2010 noch weiter ausbauen konnte und mit 2.908 die – in Bezug auf die reine Anzahl – mit Abstand meisten Anmeldungen innehat. Dennoch verliert Japan aufgrund der höheren Gesamtzahl an Offenlegungen insgesamt an Marktanteil und pendelt sich im Jahr 2010 bei ca. 42% ein, ein Verlust von knapp 13% innerhalb einer Dekade.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts wurde dagegen leicht verstärkt und der Marktanteil von 6% auf 10% gesteigert. Die reine Anzahl an Patentanmeldungen in Deutschland wuchs in diesem Zeitraum um das 10-fache und damit mehr als doppelt so stark im Vergleich zu Japan. Mit Abstand am meisten Dynamik ist jedoch in China zu beobachten. Hier konnte der Marktanteil innerhalb der letzten 10 Jahre von 2,6% auf 14,7% gesteigert werden. Die reine Anzahl der offengelegten Patentschriften erreicht im Jahr 2010 gleichzeitig 1.024, eine Steigerung um ca. 3.200%.

Bemerkenswert ist die ab diesem Zeitpunkt sich noch einmal rasant verstärkende Dynamik: Innerhalb der dann folgenden 2 Jahre steigert China den Anteil der auf dem eigenen IP-Markt veröffentlichten Patente von 14,7% auf über 23%, während Japans Anteil von 42% auf nur noch 31% schrumpft, trotzdem aber weiterhin führend ist. Auch in Deutschland kann bis 2012 eine nochmals verstärkte Anzahl an Patentanmeldungen identifiziert werden, so dass knapp 1.100 Patente im Bereich E-Maschine veröffentlicht werden und der Marktanteil auf über 11% ansteigt. In Frankreich dagegen ist eine nur leichte Steigerung der Gesamtzahl veröffentlichter Patente über die Jahre erkennbar und der Marktanteil stagniert dementsprechend auf einem relativ geringen Niveau bei ca. 2%.

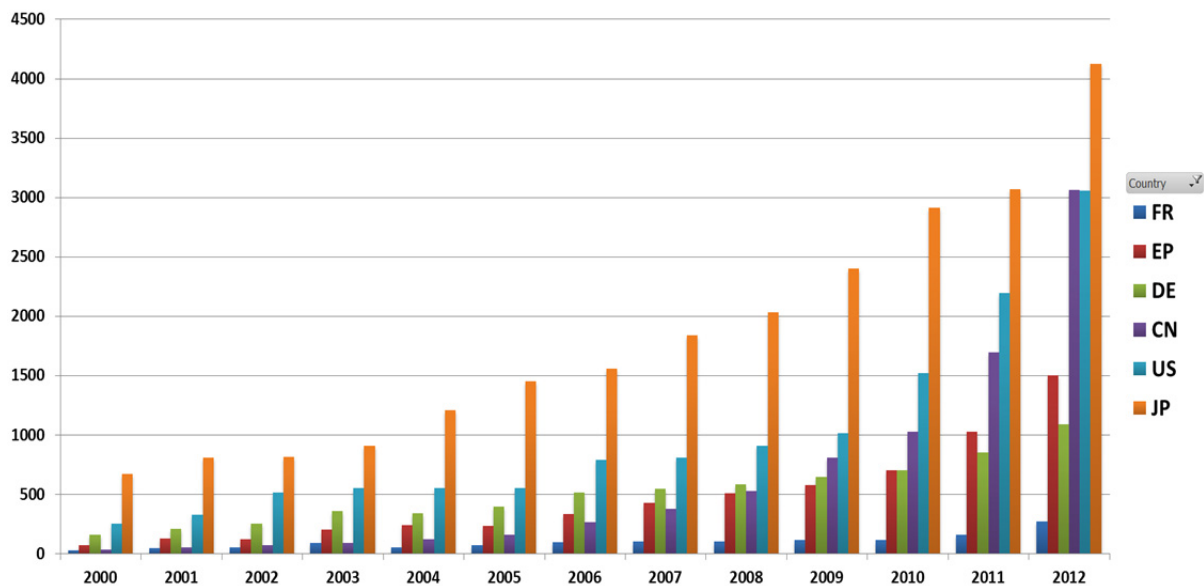


Abbildung 3: Anzahl Patente nach Weltregion über Zeit, 2000-2012

Die Analyse von Patentanmeldungen und -offenlegungszahlen dient der Identifikation von Aktivitäten und Dynamiken im Vergleich verschiedener Weltregionen, um so z.B. die Bedeutung der jeweiligen IP-Märkte für Patentanmelder über einen definierten Zeitraum zu vergleichen. Zur Ableitung von Aussagen zur Technologieposition aber ist es notwendig, eine Untersuchung der jeweilig führenden Institutionen innerhalb des Technologiefelds durchzuführen. Dies wird im folgenden Ranking für den Bereich E-Maschine im Antriebsstrang aufgezeigt.

Da die Aussagekraft der reinen Patentanzahl aber beschränkt ist, sollen bei Erstellung des Rankings diejenigen Patentschriften ausgeklammert werden, die gleiche Inhalte in unterschiedlichen Weltregionen schützen bzw. derselben Patentfamilie zugeordnet werden können. So sollen Doppel- oder Mehrfachzählungen vermieden und das Ranking der TOP-Institutionen anhand inhaltlich relevanter Erfindungen (oder Inventionen), die über den jeweiligen State-of-the-Art bestehender Lösungen hinausgehen, erstellt werden. Abbildung 4 stellt das Ranking der TOP Patentanmelder nach Anzahl der inhaltlichen relevanten Erfindungen dar.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	TOYOTA MOTOR	7.789	JP
2	HONDA MOTOR	3.073	JP
3	NISSAN MOTOR	2.835	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	1.987	JP
5	HYUNDAI MOTOR	1.255	SK
6	MITSUBISHI JIDOSHA KOGYO	1.055	JP
7	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	833	US
8	DENSO	829	JP
9	AISIN AW	722	JP
10	HITACHI	685	JP
11	ROBERT BOSCH	679	DE
12	FORD GLOBAL TECH	655	US
13	DAIMLER	637	DE



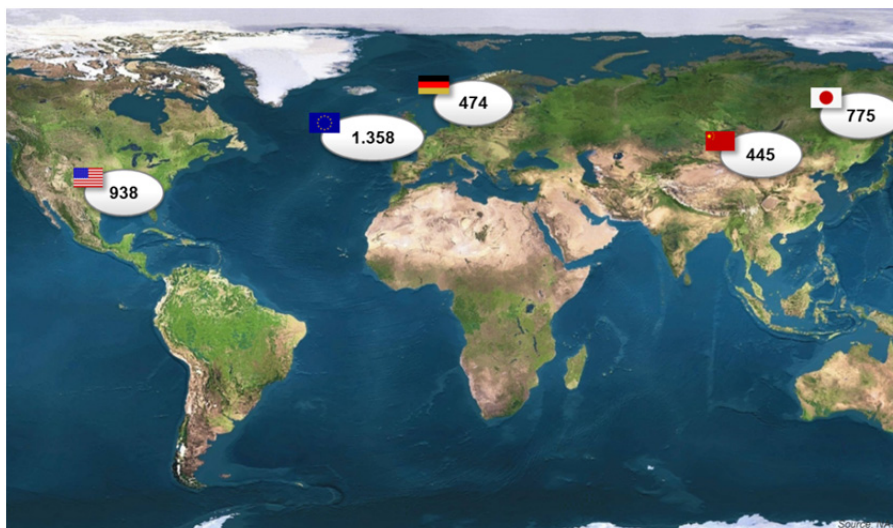
14	KIA MOTORS	427	SK
15	PEUGEOT CITROEN AUTOMOB	411	FR
16	ZF FRIEDRICHSHAFEN	399	DE
17	MAZDA MOTOR	367	JP
18	RENAULT	357	FR
19	TOSHIBA	353	JP
20	BAYERISCHE MOTOREN WERKE	347	DE

**Abbildung 4: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Elektrische Maschine“ nach Anzahl der Erfindungen**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen asiatische Unternehmen 9 Positionen in den TOP10, wobei insbesondere japanische Institutionen weit überlegen und mit einer Gesamtzahl von 19.695 Erfindungen führend sind. Während alleine Toyota (Motor + Jidosha) insgesamt auf 9.776 Inventionen kommt, halten deutsche OEMs 984 inhaltlich relevante Patentschriften und finden sich mit Daimler (inkl. DaimlerChrysler) und BMW auf den Plätzen 13 und 20 wieder.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH auf Rang 11 mit 679 Inventionen im Portfolio. Die USA ist mit GM (833) und Ford (655) auf Platz 7 bzw. 12 vertreten, Tesla Motors hält 122 Patente (22 Inventionen) im Bereich E-Maschinen für elektrifizierte PKW. Bestplatzierte chinesische Unternehmen sind Chery Automobile und BYD mit 117 bzw 81 Inventionen, gefolgt von der Tsinghua University in Peking mit 55 Erfindungen.

Mit Abstand am meisten Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ sind in Europa aktiv, wie in Abbildung 5 ersichtlich. Inklusive der Schweiz können insgesamt 1.358 Unternehmen, Forschungsinstituten und Universitäten identifiziert werden, gefolgt von den USA mit 938 und Japan mit 775. Allein Deutschland ist in Europa für über ein Drittel aller aktiven Institutionen verantwortlich.



**Abbildung 5: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“**

## 2.2 Patent-/ Publikationsanalyse „E-Maschine-Bauformen“

Innerhalb der untersuchten Patente im Bereich Elektrische Maschine sind verschiedene Schwerpunktsetzungen erkennbar, die sich z.B. auf unterschiedliche Bauformen elektrischer Maschinen oder auf konkrete Anwendungen im Komponenten- und Bauteilebereiche beziehen und im Folgenden Fokus der Analysen sein werden.

Der mechanische Aufbau von elektrischen Maschinen ist insbesondere im Vergleich mit konventionellen Verbrennungsmotoren recht einfach: Ein feststehender Teil (*Stator* oder *Ständer*), dem elektrische Leistung zu- bzw. abgeführt wird, ist durch einen Luftspalt von einem sich bewegenden Teil (*Rotor*, *Läufer* oder *Anker* genannt) getrennt, dem mechanische Leistung zu- bzw. abgeführt wird. Dabei kann der Rotor sowohl innen (*Innenläufer*) als auch außen liegen (*Außenläufer*). Die Funktionsweise elektrischer Maschinen beruht auf Elektromagnetismus. Dabei wird entweder die Lorentz-Kraft, die auf bewegte Ladungen (elektrische Ströme) in einem magnetischen Feld wirkt oder die Maxwell-Kraft, die beispielsweise auch die Grundlage von Hubmagneten ist, genutzt, um eine kontinuierliche Drehbewegung zu erzeugen. Hinsichtlich des Aufbaus von Rotor und Stator – und damit untrennbar verbunden auch der Funktionsweise – existieren verschiedene Ausführungsformen mit spezifischen Vor- und Nachteilen. Die im Bereich elektrischer Antriebe für Kraftfahrzeuge bedeutendsten sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden:

Bei der **permanenterregten Synchronmaschine** (PSM) wird im Stator ein magnetisches Drehfeld erzeugt. Dies entsteht, indem die rotationssymmetrisch angeordneten Ständerwicklungen statt mit Gleichstrom mit dreiphasigem Wechselstrom gespeist werden. Durch das umlaufende Magnetfeld im Stator ist keine Kommutierung notwendig, so dass der Aufbau des Rotors wesentlich vereinfacht werden kann. Im Falle der permanenterregten Synchronmaschine werden hierfür direkt Permanentmagnete verwendet, die sich am Magnetfeld des Stators ausrichten und damit dessen Drehbewegung folgen. Konstruktiv kann dies entweder durch Oberflächenmagnete oder im Rotor vergrabene Magnete (engl. interior permanent magnets) realisiert werden.

Die **stromerregte Synchronmaschine** (SSM) unterscheidet sich gegenüber ihrem permanenterregtem Pendant lediglich durch den Aufbau des Rotors. Wie der Name impliziert, wird hier im Rotor ein Elektromagnet verwendet, der von einer Gleichspannungsquelle mit Strom versorgt wird. Da das Magnetfeld aus Sicht des Rotors zeitlich konstant ist bestehen kaum Probleme hinsichtlich entstehender Wirbelströme, so dass der Rotor aus massivem Stahl gefertigt werden kann und keine aufwändige Laminierung erforderlich ist. Allerdings sind zur Stromversorgung Bürsten oder Schleifringe erforderlich, woraus sich wiederum Nachteile bezüglich Wartungsaufwand und Maximaldrehzahl ergeben. Gegenüber der permanenterregten Synchronmaschine ergeben sich die Vorteile eines Verzichts auf Permanentmagnete und die entsprechenden Kostenersparnis, wobei nur geringe Einbußen bezüglich des Wirkungsgrads hingenommen werden müssen. Vom technischen Entwicklungsstand ist die stromerregte Synchronmaschine noch nicht so ausgereift wie die permanenterregte, stellt jedoch zunehmend eine interessante Alternative dar.

Die **Asynchronmaschine** (engl. *Induction Machine / IM*) weist einen zur Synchronmaschine identischen Aufbau des Stators mit den Drehstromwicklungen auf, unterscheidet sich aber im Rotoraufbau deutlich. Hierbei finden meist Käfigläufer mit Stabwicklungen Anwendung, die über Kurzschlussringe miteinander verbunden sind. Entscheidender Unterschied zu den Läufern von Gleichstrom- oder stromerregter Synchronmaschine ist damit, dass keine elektrischen Leitungen über Bürsten oder Schleifringe nach außen geführt werden müssen.

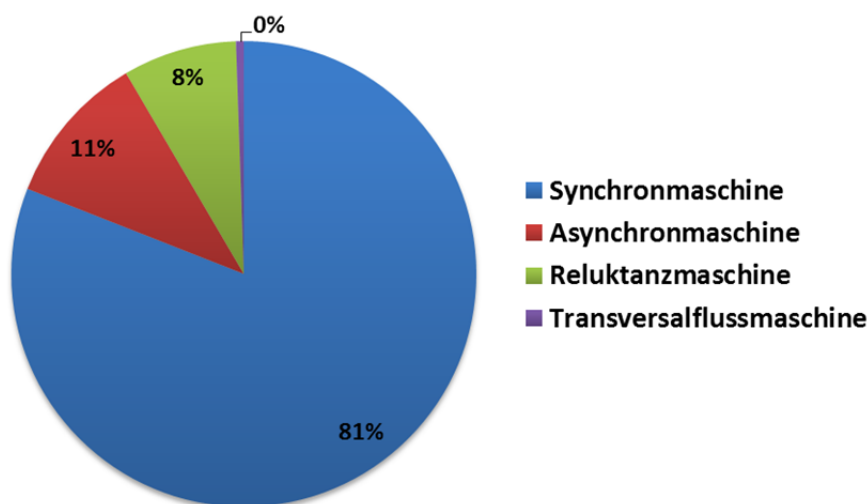
Eine weitere Alternative stellt die **Reluktanzmaschine** (engl. *Switched Reluctance Machine / SRM*) dar. Obwohl sie elektrisch über denselben Statoraufbau wie Synchron- und Asynchronmaschine verfügt, beruht ihre Funktionsweise auf anderen physikalischen Prinzipien. Entscheidend ist hierbei die namensgebende Reluktanzkraft. Sie bewirkt, dass sich magnetisierbares Material immer in Richtung des geringsten magnetischen Widerstands bewegt und somit das Bestreben hat, den Abstand zwischen sich und dem Magneten zu verringern. Hierauf beruht auch die aus dem Alltag bekannte Anziehungskraft von Magneten. Um das Prinzip für eine elektrische Maschine nutzbar zu machen, müssen sowohl Rotor als auch Stator ein zahnförmiges Profil mit unterschiedlicher Zähnezahl aufweisen. Dabei ist jeder Statorzahn mit Spu-

len bestückt, während der Rotor einfach aus weichmagnetischen Material (im einfachsten Fall Eisen) besteht, also weder Wicklungen noch Permanentmagnete benötigt.

Während bei allen bisherigen Ausführungsformen der magnetische Fluss stets in der radialen Ebene liegt, es sich also um „Radialflussmaschinen“ handelt, ist das gemeinsame Merkmal von **Transversalflussmaschinen** (engl. *Transverse Flux Machine / TFM*) die Magnetisierung in Richtung der Rotationsachse. Der Aufbau des Stators ist dabei grundlegend verschieden und weist um die Wellenachse in einem Ring geführte Statorwicklungen auf. Auch auf diese Weise kann im Stator ein Drehfeld erzeugt werden, der Aufbau des magnetischen Kreises ist allerdings wesentlich komplizierter und entsprechend teurer. Rotorseitig können alle von den „Radialflussmaschinen“ bekannten Lösungen eingesetzt werden, es gibt also beispielsweise ebenso permanenterrechte Transversalflussmaschinen wie Transversalfluss-Reluktanzmaschinen.

Bei Analyse der Patente im Hinblick auf unterschiedliche Bauformen und ohne Beschränkung auf Erfindungen, die sich auf elektrifizierte PKW beziehen lässt sich ein klarer Schwerpunkt bei Inventionen im Bereich Synchronmaschine (35.141 Inventionen; 81%) erkennen, gefolgt von der Asynchronmaschine (4.593; 11%), der Reluktanzmaschine (3.437; 8%) und der Transversalflussmaschine (235; 0,5%), wie in Abbildung 6 zu sehen.

Die gleiche Fokussierung lässt sich auch bei denjenigen Erfindungen erkennen, die sich konkret auf eine Anwendung im Bereich elektrifizierter PKW beziehen, mit der einzigen Ausnahme, dass die Asynchronmaschine mit 8% hier einen um leicht geringeren und die Synchronmaschine mit 84% einen etwas größeren Anteil an den F&E-Aktivitäten hat. Die Gesamtzahl aller Patentoffenlegungen beträgt hier 1.518.



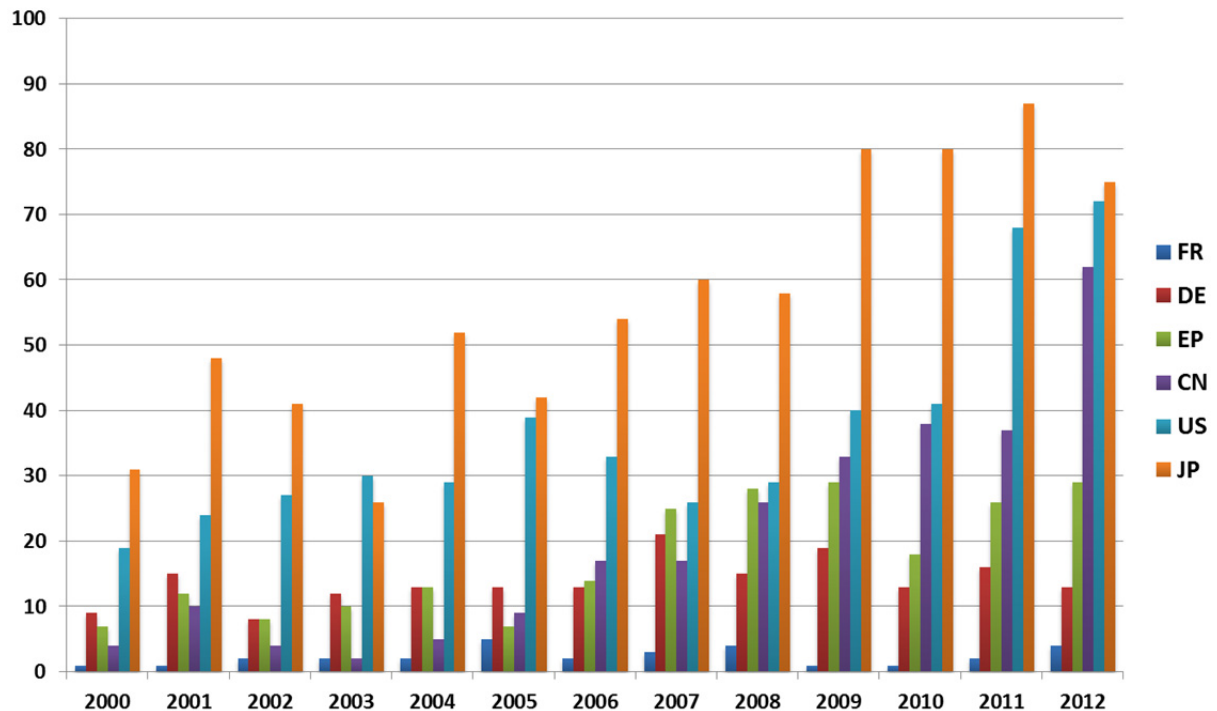
**Abbildung 6: Anteil der Erfindungen im Bereich "Bauformen"**

Über alle Bauformen hinweg ist auch bei einer Analyse der Patentanmeldungen über den Zeitraum der Jahre 2000-2012 insgesamt eine Dominanz Japans zu identifizieren (siehe Abbildung 7), wobei der Anteil Japans an den weltweiten Patentanmeldungen aber von 44% im Jahr 2000 auf ca. 30% im Jahr 2012 zurückgeht.

Im Zeitraum bis 2012 verliert auch der deutsche IP-Markt für die Patentanmelder an Bedeutung und sinkt um knapp 8%, um so nur noch 5% des Gesamtmarkts zu entsprechen. Gleichzeitig können auf EU- und US-Ebene die jeweiligen Marktanteile um 2 Prozent auf 12% (Europa) bzw. 29% (USA) ansteigen.

Den größten Zuwachs verzeichnet abermals der chinesische Patentmarkt, der die reine Anmeldungszahl von 4 im Jahr 2000 auf 38 in 2010 und 62 im Jahr 2012 steigern konnte. China nimmt damit nach 2006 im Jahr 2009 wieder den dritten Platz hinter Japan und den USA ein und verdrängt Europa auf Platz 3.

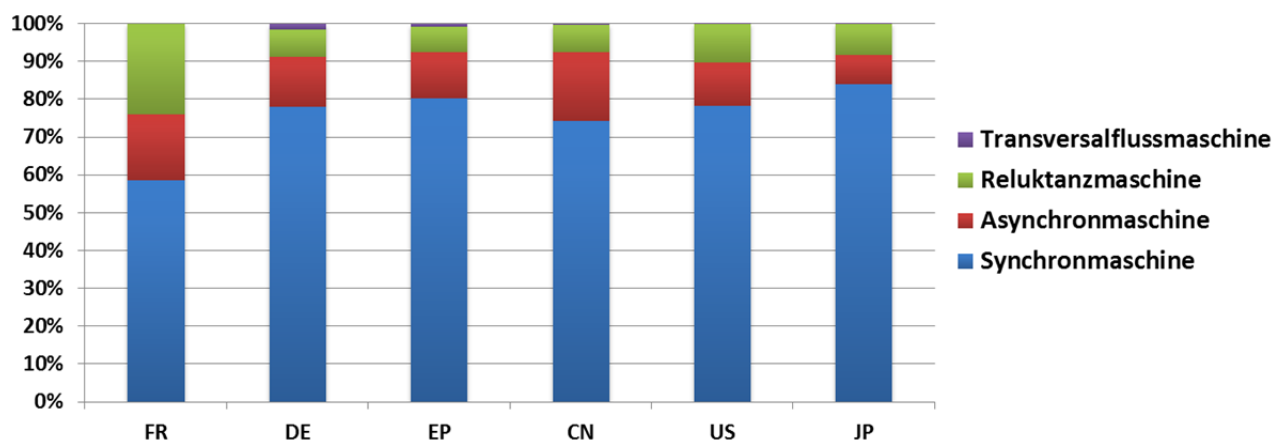
Der Anteil des chinesischen Marktes am Gesamtmarkt steigt so von 5% in 2000 auf 20% im Jahr 2010 und sogar 25% in 2012.



**Abbildung 7: Anteil Patente im Bereich "Bauformen" nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Eine klar unterschiedliche Fokussierung von Patentaktivitäten einzelner Weltregionen auf bestimmte E-Maschine-Typen ist laut Analyse nicht erkennbar, wie Abbildung 8 zeigt. Die Schwerpunktsetzung von F&E-Aktivitäten liegt in allen untersuchten Weltregionen stark auf der Synchronmaschine mit Anteilen von 58% (FR) bis 84% (JP), gefolgt von Forschungen zur Asynchronmaschine zwischen 8% (JP) und 18% (CN) sowie zur Reluktanzmaschine mit Anteilen von 7% (DE) bis 24% (FR).

Patente zur Transversalflussmaschine mit Bezug zu elektrifizierten PKW wurden in nennenswertem Umfang bislang nur in Deutschland und Europa veröffentlicht. Bei der Analyse mit erweitertem Suchfeld – also ohne Beschränkung auf elektrifizierte PKW – kann in diesem Technologiefeld eine Dominanz der USA und Deutschlands identifiziert werden, die im untersuchten Zeitraum jeweils ca. 100 Patente zur Transversalflussmaschine aufweisen können.

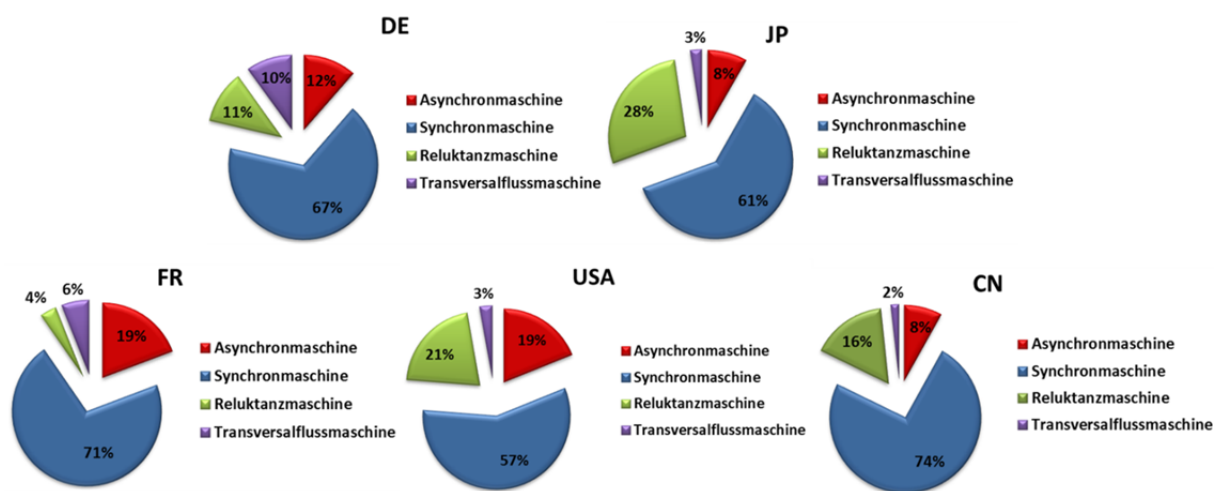


**Abbildung 8: Anteil Patente nach Bauformen über Weltregion**

Bei einer Analyse wissenschaftlich rezensierter Publikationen kann ein etwas anderes Bild gezeichnet werden. Zwar ist auch hier in allen untersuchten Weltregionen ein starker Forschungsfokus bei der (permanenterregten) Synchronmaschine zu erkennen, dennoch sind die Forschungsanteile bei alternativen E-Maschine-Typen und -Bauformen insgesamt höher.

Im Vergleich zu Patenten bilden Publikationen eher weniger anwendungsorientierte Forschungsleistungen ab und entstammen insbesondere dem Umfeld von Universitäten und Forschungsinstituten. Die hier thematisierten Inhalte sind stärker theoriegeleitet oder zielen eher auf die Lösung grundlegender Problemstellungen zur Realisierbarkeit neuartiger Technologien ab, sind dementsprechend von einer konkreten marktorientierten Anwendung weiter entfernt als im Rahmen von Patentschriften thematisierte Inhalte.

Zu sehen ist laut Abbildung 9, dass die Anteile verschiedener E-Maschine-Typen bei Vergleich der Patent- und Publikationslandschaft in Deutschland relativ ähnlich ausgeprägt sind. Während der Publikationsanteil bei Synchronmaschinen aber um ca. 10 Prozentpunkte geringer ist als bei der Patentsituation, sind die Anteile von Asynchron-, Reluktanz- und Transversalflussmaschine dementsprechend höher und mit ca. 10-12% relativ gleich verteilt. Insgesamt 932 Publikationen mit inhaltlichem Fokus auf „Bauformen“ konnten identifiziert werden.



**Abbildung 9: Anteil Publikationen nach Bauformen über Weltregion**

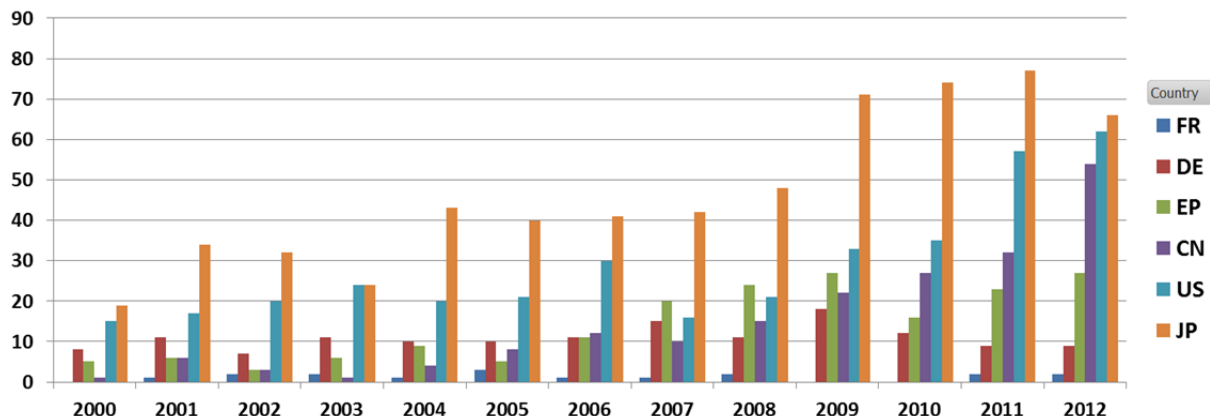
Japan und die USA haben bei den Publikationsanteilen die größten Abweichungen im Vergleich zu den Patenten. Bei beiden Ländern weicht der starke Patentfokus auf Synchronmaschinen (78% bzw. 84%) einer auf längere Sicht „technologieoffeneren“ Forschung, so dass die Anteile auf 57% (USA) und 61% (Japan) zurückgehen. Insbesondere die Reluktanzmaschine ist bei beiden Ländern dafür stärker im Fokus wissenschaftlicher Forschung und nimmt Anteile zwischen 21% (USA) und sogar 28% (Japan) ein. Während die Asynchronmaschine in Japan sowohl bei den Patenten als auch Publikationen kaum im Fokus der Forschung steht und eine vernachlässigbare Rolle einnimmt, entspricht sie in den USA einem Anteil von fast 20% aller Publikationen zu E-Maschine-Typen und ist dort – sowie auch in Frankreich – mit Abstand am stärksten im Fokus von Forschungsleistungen.

## 2.3 Patent-/ Publikationsanalyse „Synchronmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Synchronmaschine stehen, ist Japan im untersuchten Zeitraum bei der Gesamtanzahl ebenfalls klar führend. Abbildung 10 lässt jedoch signifikante Veränderungen über die Zeit erkennen: Während der japanische Patentmarkt im Jahr 2000 knapp 40% aller Anmeldungen verzeichnen hatte und diese bis auf 45% im Jahr 2010 steigern konnte, schrumpft dieser Anteil bis 2012 auf nur noch 30% Anteil am Gesamtmarkt.

Insgesamt ist der Patentmarkt im Bereich Synchronmaschine für elektrifizierte PKW in den untersuchten Weltregionen innerhalb von 12 Jahren um ca. 460% gewachsen, die Anzahl der in Japan angemeldeten Patente gleichzeitig aber nur um ca. 350%. Im Vergleich dazu konnte China den Anteil der Patentschriften kontinuierlich ab dem Jahr 2007 steigern und bezüglich der reinen Anzahl veröffentlichter Patente im Jahr 2010 erstmals Europa von Platz 3 verdrängen. Der Anteil des chinesischen Patentmarkts am Gesamtmarkt wuchs so von ca. 2% im Jahr 2000 auf über 21% in 2010 und sogar 25% in 2012.

Der Anteil Deutschlands dagegen hat über die letzten 12 Jahre stark abgenommen und ist, ausgehend von ca. 17% im Jahr 2000, nur noch für einen Anteil von 4% im Jahr 2012 verantwortlich.



**Abbildung 10: Anzahl Patente im Bereich „Synchronmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Ranking der weltweit führenden Patentanmelder im Bereich der Synchronmaschine belegen laut Abbildung 11 asiatische Institutionen 15 Plätze in den TOP20, wobei japanische Unternehmen mit einer Gesamtzahl von 606 Erfindungen vertreten sind und die asiatische Region dominieren. Nur Hyundai (Südkorea) auf Rang 19 mit 7 Erfindungen n mit Bezug zu elektrifizierten PKW kann in den TOP20 identifiziert werden.

Während allein der Toyota-Konzern mit Toyota Motor und Toyota Jidosha auf insgesamt 163 inhaltlich relevante Inventionen kommt, sind deutsche OEMs in den TOP20 überhaupt nicht vertreten. Die stärkste Position aus deutscher Sicht in diesem Technologiefeld haben die Tier1-Zulieferer Siemens und Bosch, die gemeinsam 15 inhaltlich relevante Erfindungen (54 Patente) im Portfolio haben. Sie finden sich damit auf den Plätzen 17 (Siemens AG) und 20 (Robert Bosch GmbH) wieder.

Die bestplatzierten deutschen OEMs sind Volkswagen mit 4, BMW mit 3 und Daimler mit 2 Erfindungen. Porsche und Audi haben jeweils 1 Invention im Portfolio. Die USA ist mit GM (27) und Ford (13) vertreten. Bestplatzierte chinesische Institutionen sind die Tongji University, United Electronci Automotive Systems und Chongqing Tsingshan Industries mit jeweils 2 Inventionen.

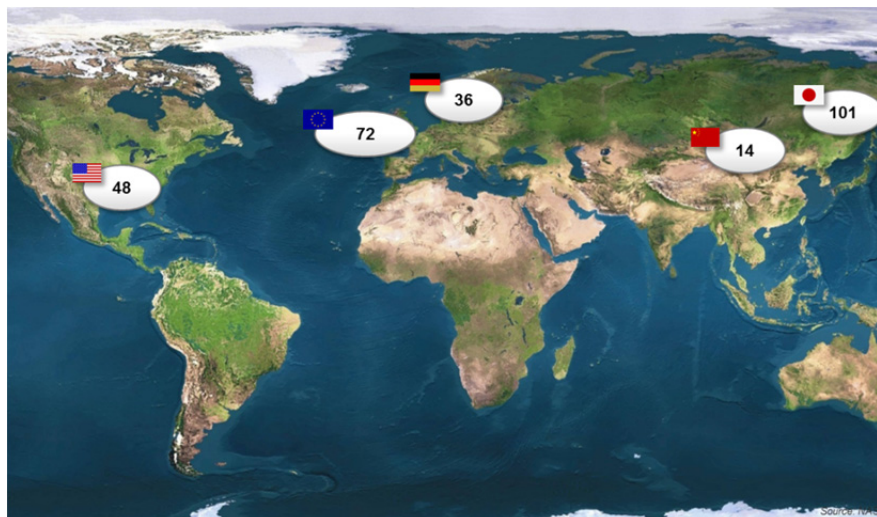
Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	HONDA MOTOR	114	JP
2	TOYOTA MOTOR	113	JP
3	HITACHI	80	JP
4	TOYOTA JIDOSHA	50	JP
5	DENSO	46	JP
6	NISSAN MOTOR	39	JP



7	AISIN AW	33	JP
8	TOSHIBA	30	JP
9	MITSUBISHI DENKI	27	JP
10	GM GLOBAL TECH OPS	27	US
11	YAMAHA MOTOR	18	JP
12	FUJI ELECTRIC	18	JP
13	MATSUSHITA ELECTRIC IND	14	JP
14	FORD GLOBAL TECH	13	US
15	TOYOTA CENTRAL R & D LABS	9	JP
16	MITSUBA	8	JP
17	<b>SIEMENS</b>	<b>8</b>	<b>DE</b>
18	MEIDENSHA	7	JP
19	HYUNDAI MOTOR	7	SK
20	<b>BOSCH</b>	<b>7</b>	<b>DE</b>

**Abbildung 11: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine“ nach Anzahl der Erfindungen**

Insgesamt 235 Institutionen sind in den untersuchten Weltregionen aktiv in der Forschung zum Thema Synchronmaschine für elektrifizierte PKW. Die Verteilung der in den verschiedenen Weltregionen aktiven Institutionen zeigt, dass Japan mit 101 Unternehmen führend ist, gefolgt von Europa (72), den USA mit 48 und China mit 14 Institutionen. Deutschland alleine stellt in Europa dabei 50% aller aktiven Unternehmen aus Industrie und Forschung, siehe folgende Abbildung 12.



**Abbildung 12: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Synchronmaschine“**

Erweitert man nun allerdings das Suchfeld im Bereich Synchronmaschine auch auf Patentanmeldungen und Erfindungen, die sich nicht speziell auf elektrifizierte PKW und die Synchronmaschine im Antriebsstrang beziehen und damit auch Forschungsaktivitäten betrachtet, die z.B. im Bereich Luft- und Raumfahrt, Energie oder Schiene existieren, so sind mehr und z.T. andere Institutionen zu identifizieren, die die F&E-Aktivitäten treiben (siehe Abbildung 13). Allein in Japan können so 1.141 Unternehmen identifiziert werden, die Forschungen zur Synchronmaschine betreiben. Die USA folgt mit 1.035, China

mit 881 und Deutschland mit 683 Unternehmen. In den einzelnen europäischen Märkten sind insgesamt 1.774 Institutionen aktiv.

Matsushita Electric Industrial (bzw. Panasonic) springt bei Analyse der TOP Patentanmelder mit erweitertem Suchfeld von Rang 13 auf Position 1, gefolgt von dem japanischen OEM Mitsubishi, der sich von Platz 9 auf Rang 2 verbessern kann. Auch Toyota und Honda – führend bei Patentanmeldungen mit konkretem Bezug zu elektrifizierten PKW – sind als OEMs weiterhin in den TOP10 aller Patentanmelder im Bereich Synchronmaschine vertreten und belegen die Ränge 6 und 7.

Auf Platz 8 als bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Robert Bosch GmbH mit 495 Erfindungen anzufinden, die Siemens AG komplettiert die TOP20 aus deutscher Sicht und belegt Platz 13 mit 418 Erfindungen.

Rang	Institution	Anzahl Erfindungen	Land
1	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.437	JP
2	MITSUBISHI DENKI	1.281	JP
3	DENSO	967	JP
4	HITACHI	832	JP
5	TOSHIBA	728	JP
6	TOYOTA MOTOR	619	JP
7	HONDA MOTOR	581	JP
8	ROBERT BOSCH	495	DE
9	NISSAN MOTOR	489	JP
10	NIPPON DENSO	480	JP
11	LG ELECTRONICS	472	SK
12	SANYO ELECTRIC	431	JP
13	SIEMENS	418	DE
14	DAIKIN IND	375	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	371	JP
16	PANASONIC	361	JP
17	JTEKT	330	JP
18	ASMO	293	JP
19	SAMSUNG ELECTRONICS	279	SK
20	MITSUBA	270	JP

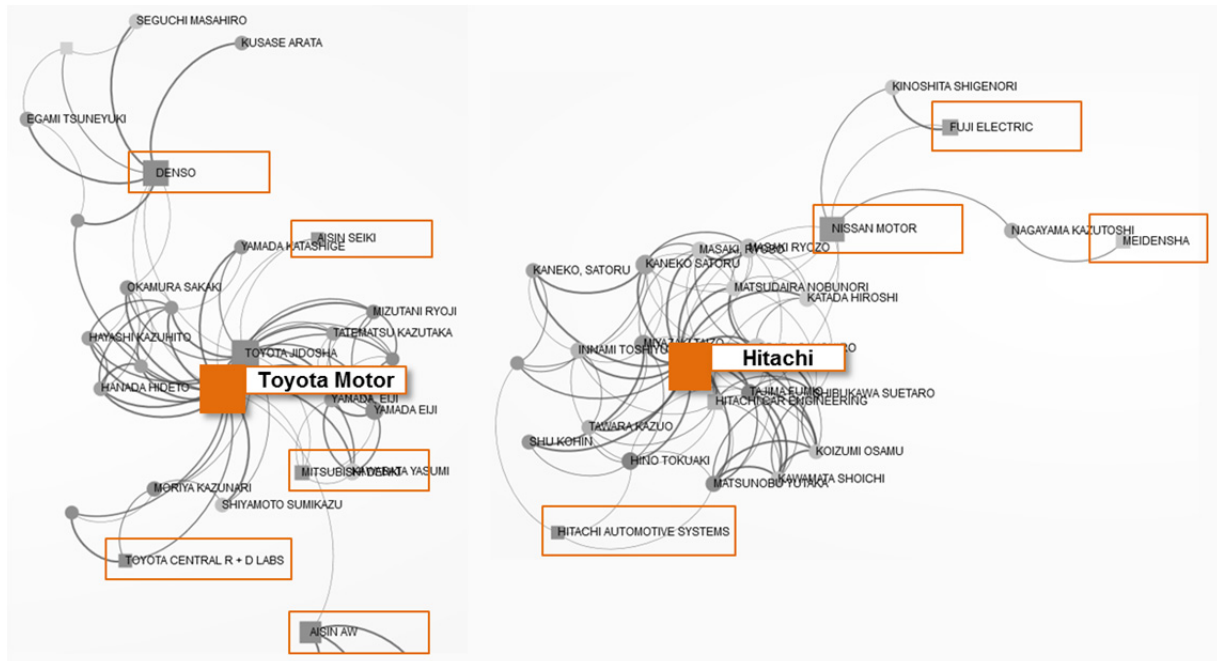
**Abbildung 13: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Synchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

Insgesamt kann auch bei einer Erweiterung des Suchfelds eine Dominanz asiatischer Institutionen bei F&E zu Synchronmaschinen identifiziert werden, wobei der Anteil japanischer Erfindungen in den TOP20 leicht zugunsten Südkoreas abnimmt und von 91 % ca. 83 % fällt.

Neben einer Untersuchung der geographischen Verteilung können über eine Patentanalyse auch Kooperationstätigkeiten und gemeinsame Forschungs- bzw. Innovationsnetzwerke und -dynamiken identifiziert werden. Hierzu werden Verbindungen einzelner Institutionen oder Erfinder über Patente hinweg visualisiert. Die folgende Analyse des Innovationsnetzwerks zur Synchronmaschine wird bei engem Suchfeld durchgeführt und bezieht sich dementsprechend nur auf Kooperationen, die Entwicklungen im Bereich „Synchronmaschine im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ thematisieren.



Während mit Honda das in der Rangliste führende Unternehmen keine kooperativen Forschungstätigkeiten in diesem Technologiefeld durchführt und auch die bestplatzierten deutschen Unternehmen Siemens und Bosch sich bei Patenten in geschlossenen Netzwerken bewegen, sind bei den auf Rang 2 und 3 liegenden Unternehmen Toyota und Hitachi ausgeprägte Innovationsnetzwerke zu identifizieren, siehe Abbildung 14.



**Abbildung 14: Innovationsnetzwerk im Bereich „Synchronmaschine“  
– Toyota Motor (JP) und Hitachi (JP)**

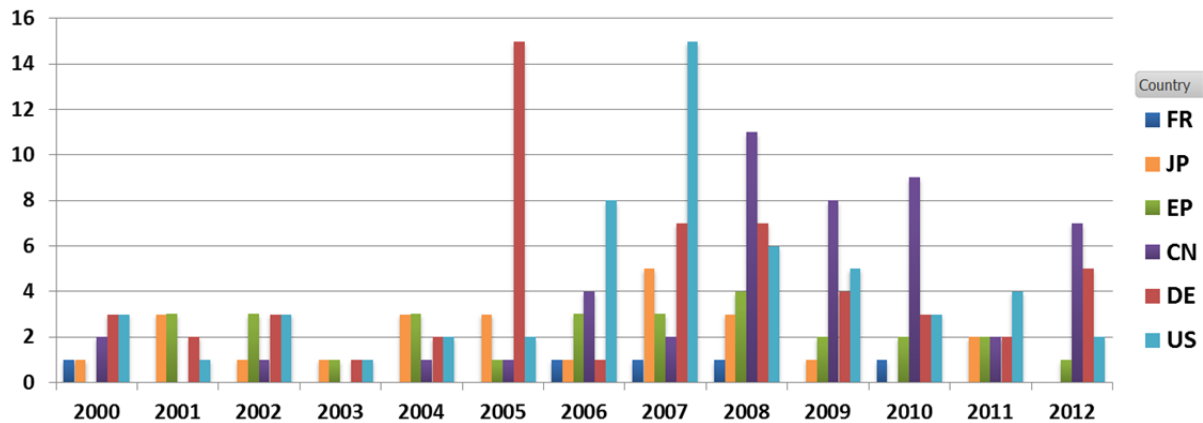
Zu sehen ist, dass in beiden Netzwerken weit verzweigte Kooperationstätigkeiten stattfinden. Während Verbindungen von Toyota Motor insbesondere zur hauseigenen Forschungsinstitution Toyota Central R&D Labs sowie zu Zulieferern wie Denso und Aisin bestehen, ist mit Mitsubishi auch ein weiterer japanischer OEM innerhalb des Netzwerks anzufinden, der selbst starke Forschungsaktivitäten im Bereich Synchronmaschine (Rang 9 bzw. 2 im erweiterten Suchfeld) zeigt.

Im Innovationsnetzwerk von Hitachi wiederum kann mit Nissan Motor ein weiterer japanischer OEM (auf Rang 6 im Technologieranking) sowie die Zulieferer Fuji Electric (Platz 12) und Meidensha (Platz 18) identifiziert werden.

## 2.4 Patent-/ Publikationsanalyse „Asynchronmaschine“

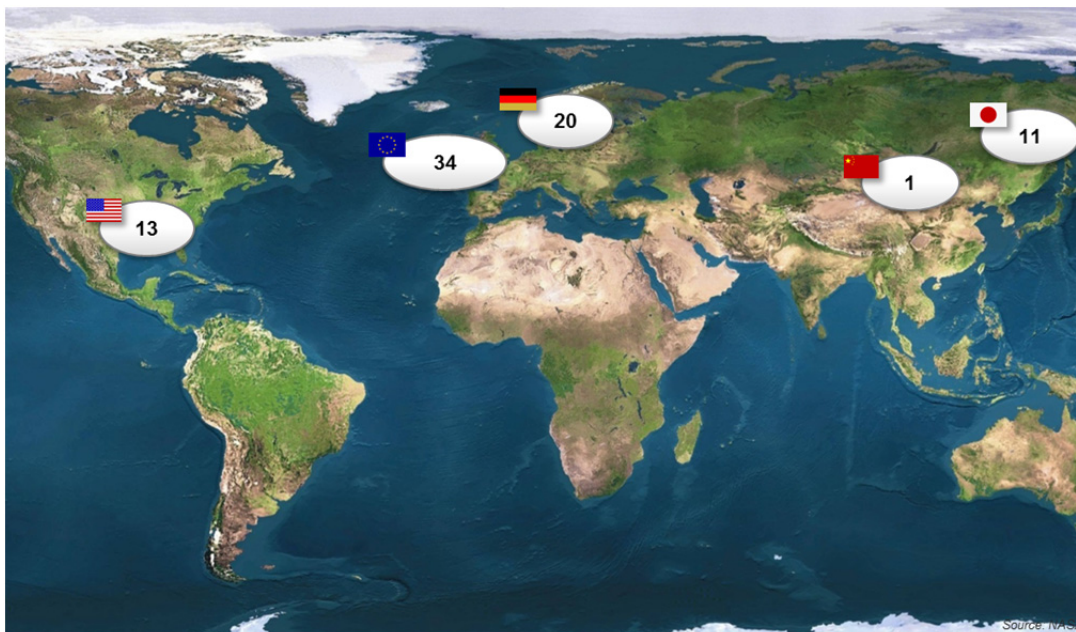
Im Bereich Asynchronmaschine mit Bezug zu elektrifizierten PKW nach Weltregion und Zeit ist ein klarer Trend über den Zeitraum 2000 bis 2012 nicht zu erkennen. Insgesamt sind die F&E-Aktivitäten der untersuchten Weltregionen in diesem speziellen Feld relativ gering, wobei insbesondere Deutschland im Jahr 2005 und die USA im Jahr 2007 mit jeweils 15 Patentanmeldungen Peaks vorzuweisen haben, sich danach aber laut Abbildung 15 wieder auf einem konstant niedrigen Level einpendeln. Beide Länder führen so auch das Ranking mit jeweils 55 auf dem jeweiligen IP-Markt angemeldeten Patenten an, gefolgt von China auf Rang 3, das insbesondere ab dem Jahr 2008 vermehrt Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt zu verzeichnen hat.

Bemerkenswert ist, dass in Japan über den gesamten Zeitraum nur 24 Patente angemeldet wurden und damit abgeschlagen auf dem vorletzten Platz liegt, jedoch noch vor Frankreich.



**Abbildung 15: Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Auch die Gesamtzahl der in der Forschung aktiven Institutionen ist bei eingeschränktem Suchfeld relativ gering, siehe Abbildung 16. Deutschland ist hierbei für knapp 60% aller Unternehmen in Europa verantwortlich und nimmt im internationalen Vergleich sogar die Spitzenposition ein vor den USA (13), Japan (11) und China (1).

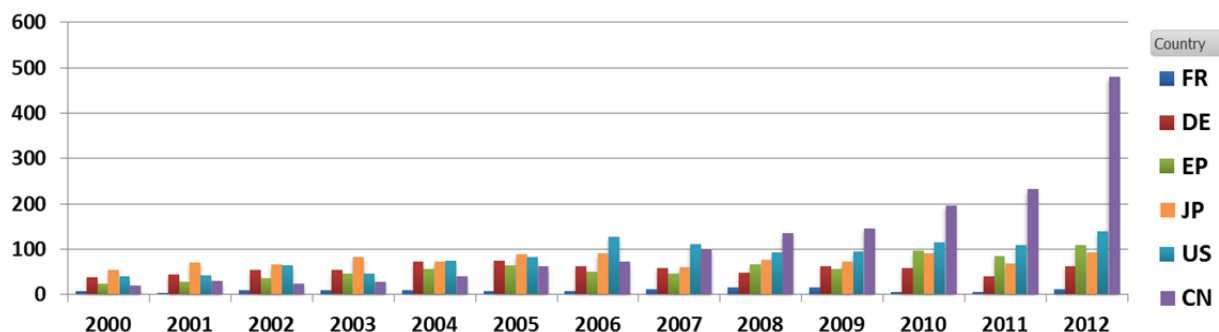


**Abbildung 16: Anzahl Institutionen mit Forschungsaktivitäten im Bereich „Asynchronmaschine“**

Aufgrund der geringen Anzahl an Patentanmeldungen im Bereich Asynchronmaschine mit konkretem Bezug zur Elektromobilität soll im Folgenden wiederum das Suchfeld erweitert werden, um so auch technologiespezifische F&E-Aktivitäten zu erfassen die über elektrifizierte PKW hinausgehen. So erweitert sich die reine Anzahl der in den Weltregionen aktiven Unternehmen um ein Vielfaches: China stellt mit 329 Institutionen die führende Position dar, gefolgt von Deutschland (295), USA (234) und Japan (200).

In Abbildung 17 zu sehen ist, dass bei der erweiterten Suche zur Asynchronmaschine mehr als 5.300 Patente im untersuchten Zeitraum angemeldet wurden, während bei engem Suchfeld nur ca. 220 identifiziert werden konnten, dies entspricht einem Anteil „elektromobilitätsgetriebener“ F&E an der Technologie von nur 4%. Führend bei der reinen Anzahl der angemeldeten Patente ist der chinesische IP-Markt, der mit knapp 1.600 Patenten vor den USA (ca. 1.100) und Japan (ca. 1.000) liegt. Insbesondere ab dem Jahr 2008 kann sich China im Rahmen dieser Analyse behaupten und die führende Position bis ins Jahr 2012 festigen und sogar noch weiter ausbauen, so dass der Marktanteil von 11% in 2000 auf über 53% in 2012 ansteigt. Die USA und insbesondere Japan verlieren im gleichen Zeitraum 7 bzw. 19 Prozentpunkte Marktanteil und erreichen in 2012 damit nur noch 16% bzw. 11%.

Auf dem deutschen IP-Markt wurden im untersuchten Zeitraum knapp 730 Patente zur Asynchronmaschine eingereicht und veröffentlicht. Auch hier ist die Entwicklung angemeldeter Patente in Relation zu China stark rückläufig. Während der Output innerhalb der untersuchten 12 Jahre um über 160% gesteigert werden konnte, verliert Deutschland aber trotzdem insgesamt 14% Marktanteil und fällt von 21% auf nur noch ca. 7% ab.



**Abbildung 17: Anzahl Patente im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Ranking der führenden Patentanmelder im weltweiten Vergleich belegen japanische Unternehmen 8 Positionen in den TOP20 und sind dabei mit einer Gesamtzahl von 405 Erfindungen führend (siehe Abbildung 18). Bemerkenswert ist, dass auch im Ranking mit erweitertem Suchfeld ein japanischer OEM in Form von Mitsubishi (Rang 3, 112 Inventionen) unter den Bestplatzierten vertreten ist. Toyota belegt in diesem Ranking mit 15 Erfindungen jedoch nur Platz 20, Honda mit 11 Erfindungen Rang 41.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen und gleichzeitig im Gesamtranking führend ist Siemens mit 136 Inventionen (349 Patente), gefolgt von Bosch mit 37 Erfindungen (163 Patente) auf Rang 10 und SEW Eurodrive mit 26 Erfindungen (51 Patente) auf Platz 13. Deutsche OEMs sind in diesem Technologiebereich weiterhin mit Daimler (16 Inventionen, inkl. Daimler Chrysler), Volkswagen und BMW (jeweils 3) sowie Porsche (1 Erfindung) vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	SIEMENS	136	DE
2	LG ELECTRONICS	113	SK
3	MITSUBISHI DENKI	112	JP
4	HITACHI	81	JP
5	FUJITSU GEN	57	JP
6	MATSUSHITA ELECTRIC IND	49	JP
7	CHONGQING MACHINERY	45	CN
8	GEN ELECTRIC	44	US
9	TOSHIBA	42	JP

10	ROBERT BOSCH	37	DE
11	ZHONGDA MOTORS	36	CN
12	GM GLOBAL TECH OPERATIONS	27	US
13	SEW-EURODRIVE	26	DE
14	YASKAWA ELECTRIC	24	JP
15	DENSO	22	JP
16	EMERSON ELECTRIC	22	US
17	FANUC	18	JP
18	YONGJI XINSHISU ELECTRIC	17	CN
19	JIANGSU UNIV	16	CN
20	TOYOTA	15	JP

**Abbildung 18: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Asynchronmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

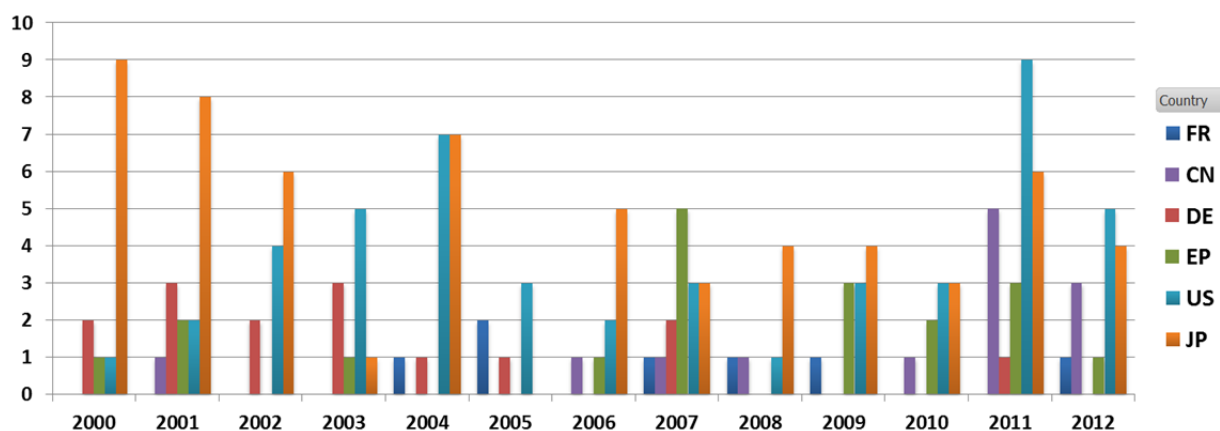
In den USA sind die Unternehmen GE (44 Inventionen), GM (27) und Emerson Electric (22) auf den TOP3 und im Bereich Patentanmeldungen für Asynchronmaschinen am breitesten aufgestellt. In China führt Chongqing Machinery mit 45 Erfindungen die Rangliste an, gefolgt von Zhongda Motors (36).

Weiterhin ist Yongji Xinshisu Electric (17) und die Jiangso University (16) in den TOP10 vertreten und China dementsprechend insgesamt in diesem Technologiefeld im internationalen Vergleich nicht nur marktseitig, sondern tatsächlich auch bei der konkreten Technologieentwicklung aktiv und in einer treibenden Rolle.

## 2.5 Patent-/ Publikationsanalyse „Reluktanzmaschine“

Im Bereich der Reluktanzmaschine in Verbindung mit elektrifizierten PKW konnten insgesamt 162 Patente im untersuchten Zeitraum identifiziert werden, wobei auch hier aufgrund der geringen Datenpunkte ein klarer Trend über die Zeit nicht erkennbar ist.

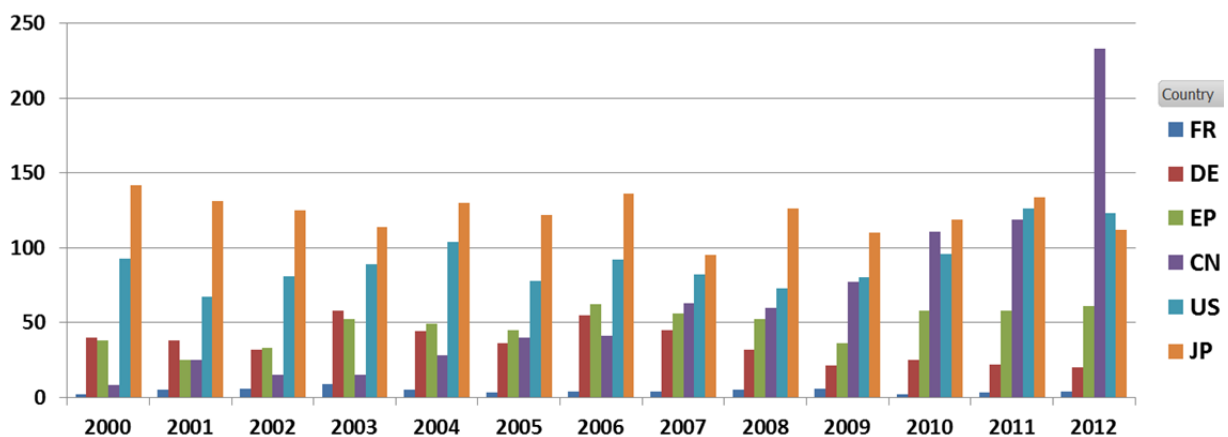
Der japanische Markt nimmt dabei ca. 37% aller Veröffentlichungen ein, gefolgt von den USA mit knapp 30% sowie Europa (12%), Deutschland (9%) und China (8%), siehe Abbildung 19.



**Abbildung 19: Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Bei einer Erweiterung des Suchfelds auf alle Patente und Inventionen im Bereich Reluktanzmaschine – ohne Einschränkung auf den Bereich elektrifizierter PKW – können ca. 4.700 Patente identifiziert werden und das Bild verschiebt sich in der Form, dass eine konstant hohe Aktivität sowohl in Japan als auch den USA über den gesamten Zeitraum erkennbar ist. Insgesamt ist Japan dabei mit ca. 1.600 angemeldeten Patenten führend, gefolgt von den USA mit ca. 1.200 und China mit ca. 800, das die Patentanmeldungen auf dem eigenen Markt ab dem Jahr 2004 kontinuierlich steigern konnte und ab dem Jahr 2012 die führende Position für Patentanmelder einnimmt, siehe Abbildung 20.

Der japanische Markt verliert über die Jahre insgesamt 24% Marktanteil und erreicht nur noch 20% im Jahr 2012, während China den Output um einen Faktor 30 steigern konnte und ausgehend von 2 Prozent Marktanteil in 2000 innerhalb einer Dekade 27% und bis 2012 sogar 42% erreicht. Die USA hält sich im untersuchten Zeitraum relativ konstant bei einem Marktanteil zwischen 22% und 29%. In Deutschland hingegen ist ab dem Jahr 2006 ein konstanter Rückgang der Patentanmeldungen im Bereich Reluktanzmaschine erkennbar. Während der deutsche IP-Markt im Jahr 2000 noch ca. 12% Marktanteil vorweisen konnte, sinkt dieser Wert bis 2012 auf nur noch 3,6% ab.



**Abbildung 20: Anzahl Patente im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führende Institution in dem Technologiefeld kommt mit LG Electronics und insgesamt 224 inhaltlich relevanten Erfindungen (394 Patente) aus Südkorea, gefolgt von Switched Reluctance Drives aus Großbritannien (106 Inventionen) und Denso aus Japan.

Japanische Unternehmen sind zwar mit 60% immer noch für die Mehrzahl der Inventionen in den TOP20 verantwortlich und treibende Kraft, jedoch nicht mehr dominante Technologieführer, wie z.B. bei der Synchronmaschine gezeigt. Auffallend ist dennoch, dass auch bei der Analyse mit erweitertem Suchfeld japanische OEMs stark vertreten sind. Toyota (incl. Toyota Central R&D Labs) befindet sich demnach mit 93 Erfindungen auf Rang 5, Mitsubishi (81) auf Rang 7 und Nissan (68) auf Platz 11, siehe Abbildung 21.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	LG ELECTRONICS	224	SK
2	SWITCHED RELUCTANCE DR	106	UK
3	DENSO	110	JP
4	SAMSUNG ELECTRONICS	94	SK
5	TOYOTA MOTOR	93	JP
6	TOSHIBA	86	JP
7	MITSUBISHI DENKI	81	JP

8	MATSUSHITA ELECTRIC IND	74	JP
9	HITACHI	72	JP
10	AISIN SEIKI	69	JP
11	NISSAN MOTOR	68	JP
12	JAPAN SERVO	60	JP
13	EMERSON ELECTRIC	57	US
14	FUJITSU GEN	53	JP
15	MITSUBA	44	JP
16	DAIKIN IND	38	JP
17	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>38</b>	<b>DE</b>
18	NANJING UNIV	35	CN
19	DANA	30	US
20	OKUMA	28	JP

**Abbildung 21: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Reluktanzmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

Emerson Electric stellt das bestplatzierte US-amerikanische Unternehmen dar, die Robert Bosch GmbH auf Rang 17 führt die Technologieentwicklung aus deutscher Sicht an. China ist mit der Nanjing University Aeronautics & Astronautics und 35 Erfindungen in den TOP20 vertreten.

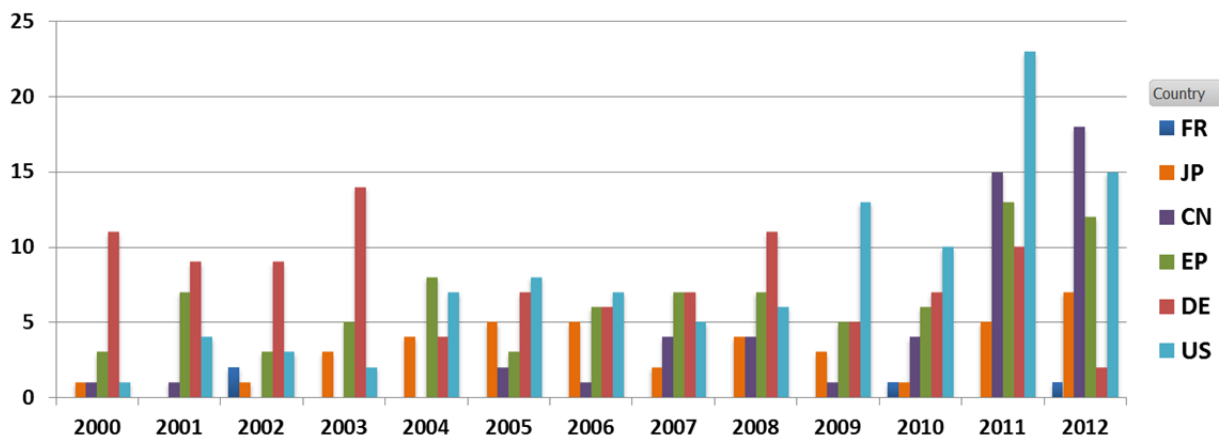
## 2.6 Patent-/ Publikationsanalyse „Transversalflussmaschine“

Im speziellen Feld der Patentveröffentlichungen, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Transversalflussmaschine für elektrifizierte PKW stehen können insgesamt nur 13 Patente identifiziert werden. Deutschland ist dabei mit 6 Patenten führend, wobei diese in den Jahren 1996, 1998 und 2001 veröffentlicht wurden. Aktuelle Forschungen können nur auf dem japanischen, US-amerikanischen und europäischen Markt identifiziert werden, wo jeweils eine Patentveröffentlichung im Jahr 2012 stattgefunden hat. Die treibenden Unternehmen im Bereich Transversalflussmaschine sind dabei die Voith AG, Toshiba sowie Daimler.

Auch hier wird im folgenden die Patentlandschaft mit erweiterten Suchfeld im Bereich Transversalflussmaschine aufgezeigt (Abbildung 22). Im untersuchten Zeitraum können so insgesamt ca. 390 Patente identifiziert und den verschiedenen Weltmärkten zugeordnet werden. Die USA und Deutschland sind mit 104 bzw. 102 Patenten in diesem Technologiefeld führend, gefolgt vom europäischen IP-Markt (85), China (51), Japan (41) sowie Frankreich (4).

Auch in dieser Analyse ist zu sehen, dass in Deutschland vermehrt in den Jahren 2000-2004 F&E-Aktivitäten stattgefunden haben, während in den Folgejahren andere Weltregionen – insbesondere die USA und ab 2011 auch China – relevant wurden. Auch die Marktanteile verschieben sich über die Jahre dementsprechend: Während der deutsche Markt im Jahr 2000 noch knapp 65% aller Patentanmeldungen verbuchen konnte, sinkt der Anteil bis 2010 auf 24% ab und erreicht in 2012 nur noch ca. 4%. Im gleichen Zeitraum kann die USA den Marktanteil von 6% auf 28% steigern, China sogar von 6% auf ca. 33%. China stellt demnach im Jahr 2012 erstmals den bedeutendsten Markt für Patentanmelder im erweiterten Bereich der Transversalflussmaschine dar.





**Abbildung 22: Anzahl Patente im Bereich „Transversalflussmaschine erweitert“ nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Deutsche Institutionen sind im erweiterten Feld zur Transversalflussmaschine führend und belegen 11 Plätze in den TOP20, siehe Abbildung 23. Die Voith AG steht dabei mit 27 Erfindungen (86 Patente) auf Rang 1 vor der Robert Bosch GmbH mit 19 Erfindungen (69 Patente) und dem Harbin Institute of Technology aus China. Auf den Plätzen 5 und 7 finden sich dann 2 deutsche OEMs wieder, die 9 bzw. 7 Erfindungen im Technologie-Portfolio vorweisen können. Insgesamt sind deutsche Unternehmen für ca. 52% aller Patentaktivitäten in den TOP20 verantwortlich. 40 deutsche Institutionen – und damit im internationalen Vergleich mit Abstand am meisten – forschen an Themen zur Transversalflussmaschine.

Das einzige japanische Unternehmen in dieser Rangliste stellt die Minebea K.K. dar, die auf Rang 19 nur 2 Inventionen vorweisen kann. Nordamerikanische Unternehmen sind durch Motor Excellence, LLC auf Platz 6, Hamilton Sundstrand (bzw. United Technologies Corp.) auf Platz 8, Otis Corp. auf Rang 10 sowie E-cycle Technologies aus Kanada auf Platz 20 vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	VOITH	27	DE
2	ROBERT BOSCH	19	DE
3	HARBIN INST TECH	16	CN
4	KOREA ELECTROTECHNOLOGY INST	28	SK
5	DAIMLER-BENZ	9	DE
6	MOTOR EXCELLENCE	7	US
7	BAYERISCHE MOTOREN WERKE	7	DE
8	HAMILTON SUNDSTRAND	6	US
9	BOMBARDIER TRANSPORTATION	6	FR
10	OTIS	4	US
11	SEW-EURODRIVE	4	DE
12	SOUTHEAST UNIV	4	CN
13	SIEMENS	3	DE
14	BLUM	3	DE
15	SCHAEFFLER	3	DE
16	COMPACT DYNAMICS	2	DE
17	HARMONIC DRIVE SYSTEMS	2	DE

18	MTU AERO ENGINES	2	DE
19	MINEBEA	2	JP
20	EOCYCLE TECH	2	CAN

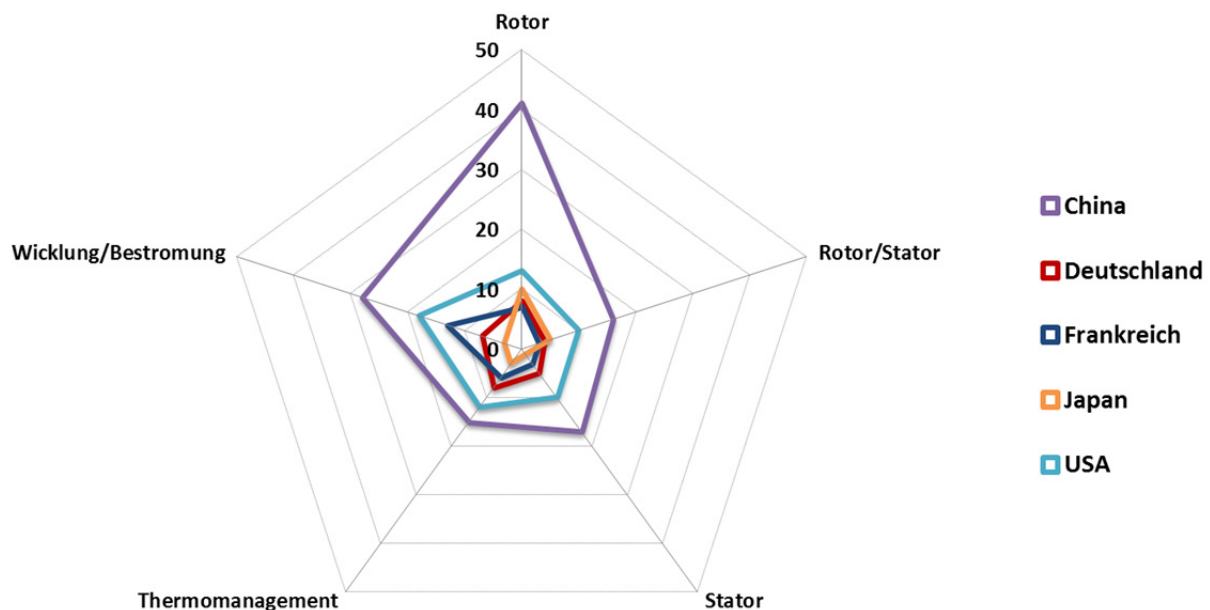
**Abbildung 23: TOP20 Patentanmelder im Bereich „Transversalflossmaschine erweitert“ nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.7 Patent-/ Publikationsanalyse „Stator/Rotor“

Bei einer weiteren Analyse von Patent- und Publikationsschriftenschriften können auch Trends und Schwerpunkte auf Komponenten- und Bauteilebene Elektrischer Maschinen identifiziert werden. Im Folgenden soll die jeweilige Forschungslandschaft bei denjenigen Komponenten dargestellt werden, die im Rahmen der internationalen Experteninterviews und von den STROM-Experten als besonders relevant für die Weiterentwicklung und/oder Optimierung von E-Maschinen im den Antriebsstrang elektrifizierter PKW genannt wurden. Im Einzelnen sind dies: Stator, Rotor, Wicklungen, Thermomanagement sowie Permanentmagnete.

Die Publikationsanalyse zeigt, dass bei einer themenspezifischen Untersuchung der identifizierten wissenschaftlichen Veröffentlichungen unterschiedliche Schwerpunkte in der Forschung auf Komponenten- und Bauteilebene im Vergleich der Weltregionen zu erkennen ist, siehe Abbildung 24.

Während bei chinesischen Publikationen ein Forschungsfokus in den Bereichen Rotor sowie Wicklung/Bestromung identifiziert werden kann, sind US-amerikanische und deutsche Veröffentlichungen weniger spezifisch, so dass sich hier keine klare Priorität erkennen lässt.



**Abbildung 24: Schwerpunkte bei Publikationen nach Weltregion und Komponente/Bauteil**

Anhand einer Analyse der Offenlegung von Patentschriften, die im Zusammenhang mit Erfindungen im Bereich Stator stehen und über alle Bauformen hinweg analysiert werden ist Japan mit 8.238 Patenten über den gesamten Zeitraum der Jahre 2000-2012 bei der reinen Patentanzahl führend, während die USA

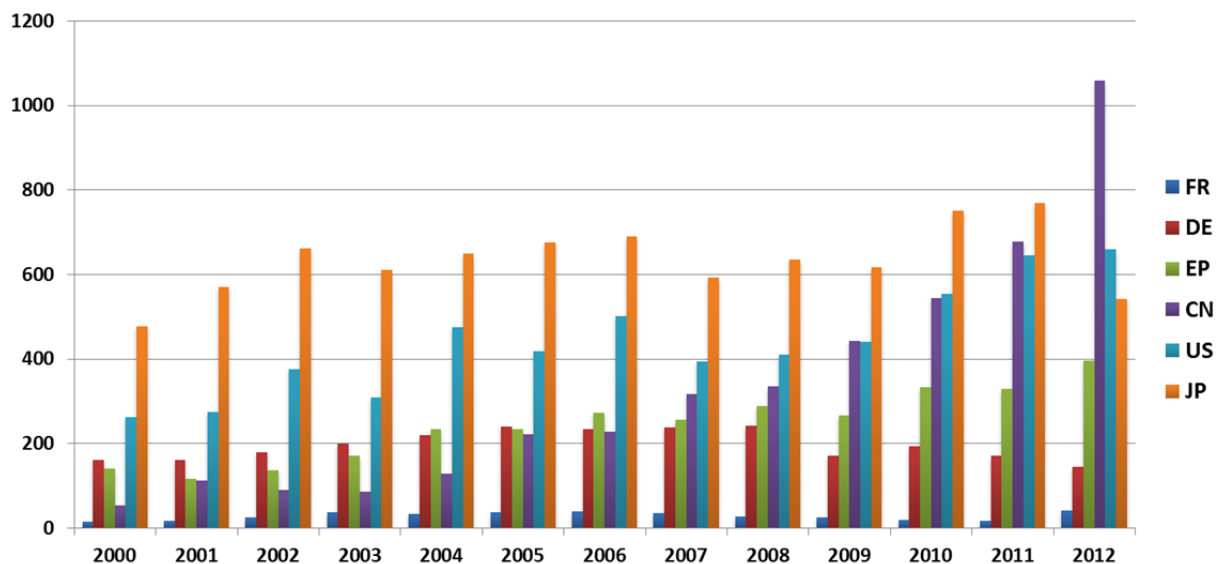


mit ca. 5.700 Patenten bis 2010 den zweiten Rang einnimmt, sich nur im Jahr 2009 knapp China geschlagen geben muss (siehe Abbildung 25).

Der Marktanteil der USA bewegt sich über die Jahre sehr konstant bei ca. 23%, während der japanische Anteil von führenden 43% in 2000 auf nur noch 19% in 2012 abfällt. Dennoch ist Japan damit vor Europa (14%) noch auf dem dritten Rang anzufinden.

Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt steigern sich ab dem Jahr 2003 konstant und zeigen insbesondere ab dem Jahr 2008 eine hohe Dynamik, so dass die USA von Platz 2 verdrängt werden und in 2012 China sogar mit Abstand die Spitzenposition einnimmt, wie Abbildung 25 zeigt. China kann den Marktanteil von nur 5% im Jahr 2000 auf 22% in 2010 und über 37% in 2012 steigern.

Deutschland hingegen ist mit einer Patentzahl zwischen 140 und 240 pro Jahr über den untersuchten Zeitraum relativ konstant und kann keine nennenswerten Steigerungen der Patentanmeldungen auf dem eigenen IP-Markt vorweisen. Der Peak wurde mit ca. 240 Patenten im Jahr 2008 erreicht, so dass in den Folgejahren relativ sinkende Patentzahlen zu erkennen sind. Der Anteil Deutschlands am Gesamtmarkt fällt dementsprechend von ca. 14% auf 8% in 2010 und nur noch 5% in 2012.



**Abbildung 25: Anzahl Patente im Bereich „Stator“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Im Bereich Stator sind japanische Institutionen insgesamt stark vertreten und belegen 7 Plätze in den TOP10, wie Abbildung 26 zeigt. Die einzigen nicht-japanischen Unternehmen innerhalb der ersten zehn Plätze sind Siemens und Bosch auf den Plätzen 5 und 6 sowie LG aus Südkorea auf Rang 8. Bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 14 mit 672 inhaltlich relevanten Erfindungen.

Auch hier ist es bemerkenswert, dass mit Mitsubishi ein OEM auf Komponentenebene führend und auch Toyota (Rang 3) sowie Honda und Nissan in der Rangliste vertreten sind. Bestplatzierte deutsche OEMs sind Daimler mit ca. 150 Erfindungen, gefolgt von Volkswagen und BMW mit 65 bzw. 55 Inventionen im Portfolio. In den USA können GM (78 Inventionen) und Ford (57) als führende OEMs identifiziert werden.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	2.207	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.659	JP
3	TOYOTA MOTOR	1.589	JP
4	DENSO	1.466	JP
5	<b>SIEMENS</b>	<b>1.344</b>	<b>DE</b>
6	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1.319</b>	<b>DE</b>
7	HITACHI	1.226	JP
8	TOSHIBA	1.212	JP
9	LG ELECTRONICS	1.036	SK
10	HONDA MOTOR	1.026	JP
11	NISSAN MOTOR	924	JP
12	ASMO	899	JP
13	YASKAWA ELECTRIC	694	JP
14	GEN ELECTRIC	672	US
15	NIPPON DENSAN	611	JP
16	SANYO ELECTRIC	543	JP
17	MINEBEA	522	JP
18	MITSUBA	502	JP
19	SAMSUNG	495	SK
20	FUJITSO GEN	367	JP

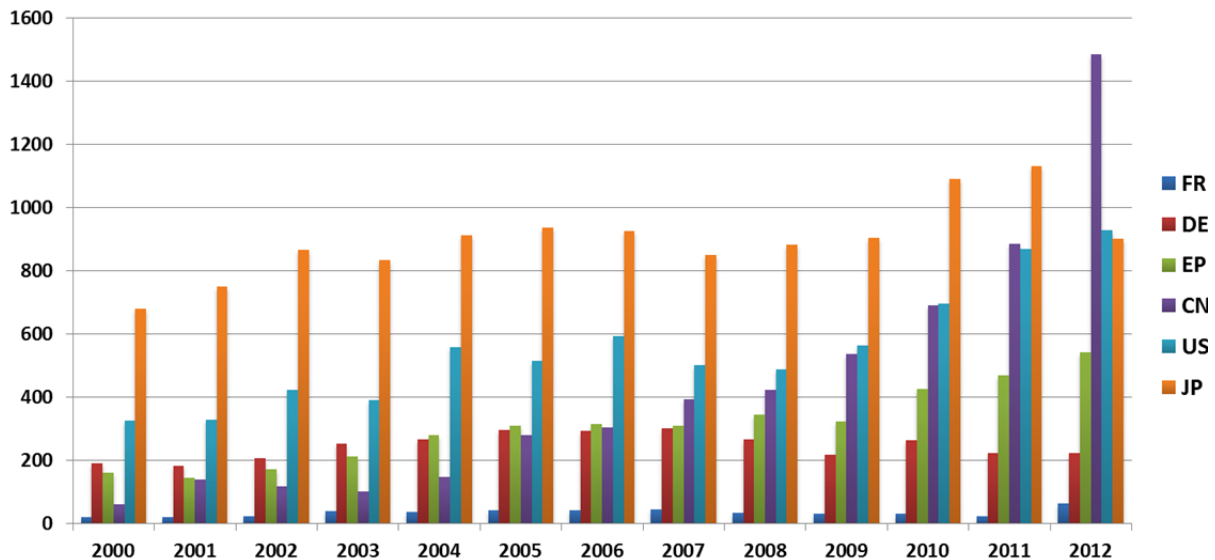
**Abbildung 26: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Stator"  
nach Anzahl der Erfindungen**

Im Bereich des „Rotors“ über alle analysierten E-Maschine-Typen hinweg ist ein sehr ähnliches Bild über die Zeit zu erkennen wie beim Stator, wobei die Gesamtanzahl der Patentschriften hier insgesamt mit ca. 32.000 höher liegt als beim Stator (ca. 24.000).

Auch hier ist Japan über den gesamten Zeitraum bei der reinen Patentanzahl führend (ca. 11.700), während die USA mit ca. 7.100 Patenten den zweiten Rang einnimmt und sich bis ins Jahr 2011 auf diesem Platz behaupten kann. Der Marktanteil der USA variiert über die Jahre nur leicht und entspricht im Mittel ca. 22%, während Japan große Anteile verliert und von 47% in 2000 auf 22% in 2012 abfällt. Japan nimmt damit im Jahr 2012 knapp hinter den USA und China den dritten Rang ein.

Patentanmeldungen auf dem chinesischen Markt können wie beim Stator auch beim Rotor ab dem Jahr 2003 konstant gesteigert werden und nehmen ab dem Jahr 2008 nochmals rasant zu, so dass die USA erstmals im Jahr 2011 von Platz 2 verdrängt werden kann. Im Jahr 2012 ist China dann der bedeutendste Markt für Patentschriften im Bereich Rotor (siehe Abbildung 27). Der Output auf dem chinesischen Markt wurde dabei von 54 Patenten im Jahr 2000 auf 544 im Jahr 2010 und sogar 1.058 in 2012 gesteigert. Der Anteil am Gesamtmarkt steigt dementsprechend ebenfalls extrem an und konnte um 34 Prozentpunkte innerhalb von 12 Jahren erhöht werden, um in 2012 insgesamt 36% zu erreichen.

Deutschland hingegen kann die Zahl der Patentanmeldungen bis auf ein Maximum von insgesamt 300 im Jahr 2007 steigern, bewegt sich aber bei der absoluten Patentzahl im Vergleich zu den anderen Weltregionen auf einem sehr konstanten Niveau. Der Marktanteil sinkt von ca. 13% im Jahr 2000 auf nur noch 5% in 2012 ab.



**Abbildung 27: Anzahl Patente im Bereich „Rotor“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die TOP20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Rotor“ sind denen im bereits gezeigten Feld „Stator“ ebenfalls ähnlich, dennoch können laut Abbildung 28 einige interessante Verschiebungen identifiziert werden.

Weiterhin belegen japanische Unternehmen 7 Plätze in den TOP10 und führen mit Mitsubishi bzw. Matsushita (Panasonic) die Rangliste an. Direkt dahinter aber kann Siemens mit 1.074 Erfindungen den dritten Rang erobern und verdrängt damit Toyota, das beim Rotor weniger starke Forschungsaktivitäten zu zeigen scheint als beim Stator. Auch Bosch kann sich um einen Platz verbessern und nimmt damit vor Denso den fünften Platz im Ranking ein.

Wiederum bestplatziertes US-amerikanisches Unternehmen ist General Electric auf Platz 13 mit 504 inhaltlich relevanten Erfindungen. Zudem kann erstmals ein taiwanesisches Unternehmen einen Platz in der Rangliste erobern, so dass die Sunonwealth Electric Machine Industry mit 287 Erfindungen den 20. Platz belegt.

Rang	Institution	Anzahl Erfindungen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	1.443	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	1.341	JP
3	<b>SIEMENS</b>	<b>1.074</b>	<b>DE</b>
4	HITACHI	1.014	JP
5	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>1.006</b>	<b>DE</b>
6	DENSO	977	JP
7	TOSHIBA	953	JP
8	TOYOTA MOTOR	870	JP
9	LG ELECTRONICS	758	SK
10	HONDA MOTOR	740	JP
11	NISSAN MOTOR	699	JP
12	ASMO	637	JP

13	GEN ELECTRIC	504	US
14	NIPPON DENSAN	487	JP
15	YASKAWA ELECTRIC	414	JP
16	MINEBEA	397	JP
17	SANYO ELECTRIC	394	JP
18	SAMSUNG ELECTRO-MECHANICS	386	SK
19	MITSUBA	362	JP
20	SUNONWEALTH ELECTRIC MACHI	287	TW

**Abbildung 28: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Rotor" nach Anzahl der Erfindungen**

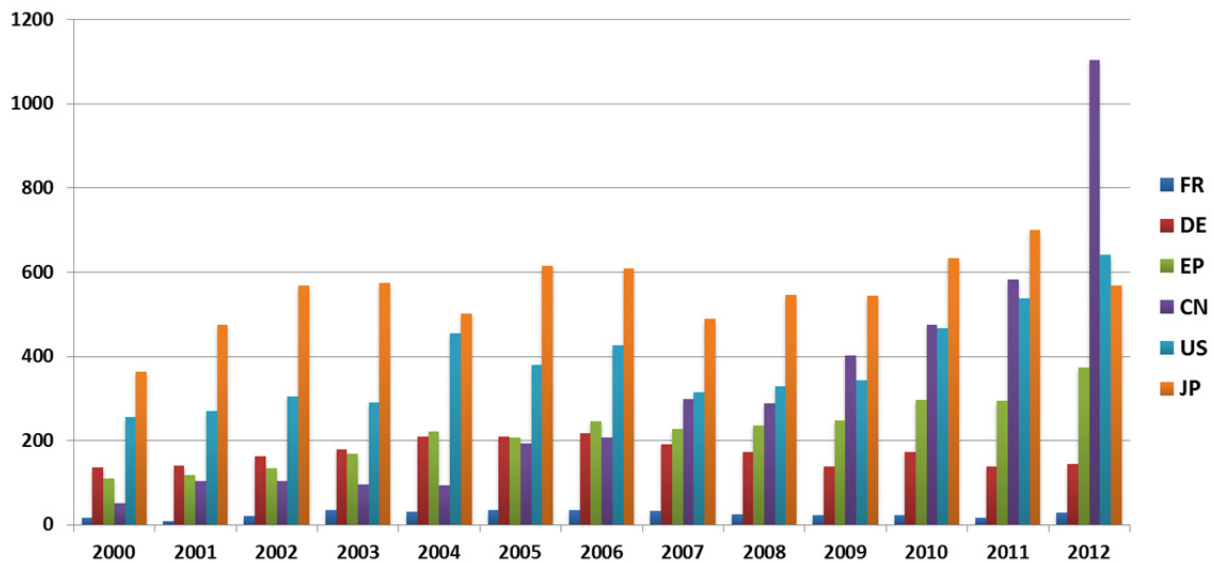
## 2.8 Patent-/ Publikationsanalyse „Wicklungen“

Im Bereich „Wicklungen“ über alle betrachteten E-Maschine-Bauformen hinweg nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit 2.858 Patenten der Peak im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 29 zu sehen ist.

Während der japanische IP-Markt insgesamt die meisten Patentanmeldungen zu verzeichnen hatte (7.183) und die USA mit 5.008 Patenten auf Platz 2 steht, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2006 kontinuierlich an und löst die USA erstmals im Jahr 2009 vom zweiten Rang ab, um im Jahr 2012 die Spitzenposition sogar vor Japan zu erreichen. Auch Europa kann die Anzahl an Patentschriften ab dem Jahr 2008 steigern, aber mit 13 % Anteil über den kompletten Zeitraum nur einen Bruchteil der Gesamtanmeldungen verzeichnen.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 220% zu identifizieren (932 zu 2.064), wobei insbesondere Europa und China die jeweiligen Positionen in 2010 verstärken konnten und eine Steigerung des Marktanteils um 3% bzw. 18% realisierten. Japan und die USA verloren im gleichen Zeitraum trotz der Erhöhung der reinen Anzahl an im jeweiligen Land angemeldeten Patenten um ca. 170% und 180% Marktanteile in Höhe von 9% (Japan) und 5% (USA). Im Jahr 2012 besitzt Japan nur noch 20% Marktanteil und hat einen Gesamtverlust von 19 Prozentpunkten, ist damit aber immer noch um fast einen Faktor 4 stärker als der deutsche IP-Markt.

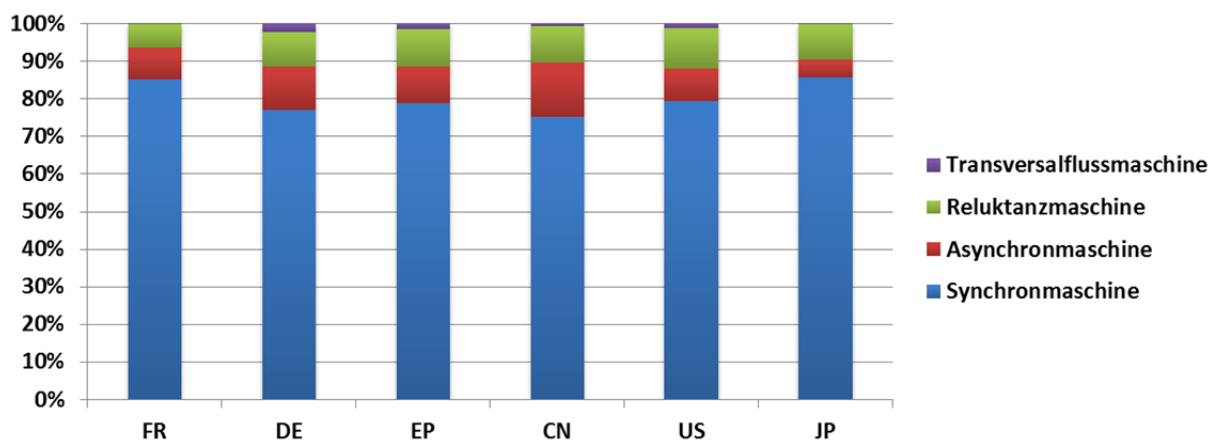
Insgesamt konnte die Veröffentlichungszahl in Deutschland von 136 im Jahr 2000 auf 145 im Jahr 2012 gesteigert werden. Viel dynamischer stellt sich die Situation in China dar, wo von 50 Patenten im Jahr 2000 ausgehend bereits 475 Patente in 2010 und sogar 1.104 Patente in 2012 im Bereich der Wicklungen offengelegt wurden, eine Steigerung von ca. 2.200%.



**Abbildung 29: Anzahl Patente im Bereich „Wicklungen“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Der größte Anteil an Patentschriften im Bereich „Wicklungen“ ist mit Abstand der Synchronmaschine zuzuordnen, über 80% aller untersuchten Patente beziehen sich auf Lösungen für diese spezielle Bauform. 23.000 Patente weniger sind im Bereich der Asynchronmaschine zu identifizieren (ca. 2.800; 9%), die hinter der Reluktanzmaschine (ca. 3.100; 10%) auf Platz 3 folgt. Wicklungen im Bereich Transversalflussmaschine entsprechen insgesamt nur 0,8%.

Wie in Abbildung 30 zu sehen, sind die Anteile über die einzelnen Weltregionen relativ gleich verteilt und fokussieren stark auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine. Den größten Anteil an alternativen Bauformen hat China und Deutschland, die 25% bzw. 22% aller Patentschriften zu Wicklungen auf die Bauformen Asynchron- und Reluktanzmaschine sowie im Falle Deutschlands auch auf die Transversalflussmaschine beziehen. Wiederum ist ein Fokus chinesischer Patentschriften auf die Asynchronmaschine zu erkennen, die hier einen relativ hohen Anteil von 14% erreicht.



**Abbildung 30: Anteil Patente im Bereich „Wicklungen“ für Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führende Institution in dem Technologiefeld „Wicklungen“ ist der japanische OEM Mitsubishi mit insgesamt 611 inhaltlich relevanten Erfindungen, gefolgt von Matsushita (bzw. Panasonic, 513) und

Denso (403). Die TOP5 werden von Hitachi (352) und Toshiba (280) komplettiert und besteht damit zur Gänze aus Institutionen mit Sitz in Japan. Auf den Plätzen 6 und 7 folgend sind Siemens (241) und Bosch (211) anzufinden, die damit die mit Abstand bestplatzierten Unternehmen aus Deutschland sind, bevor auf Rang 8 das erste US-amerikanische Unternehmen mit General Electric (165) vorzufinden ist, siehe Abbildung 31.

Insgesamt sind japanische Unternehmen in den TOP20 auch bei F&E-Aktivitäten im Technologiefeld „Wicklungen“ stark treibende Kraft und stellen 82% aller inhaltlich relevanten Erfindungen. Auffallend ist wiederum, dass japanische OEMs weiterhin mit Mitsubishi, Nissan, Honda und Toyota stark vertreten sind.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	611	JP
2	MATSUSHITA ELECTRIC IND	513	JP
3	DENSO	403	JP
4	HITACHI	352	JP
5	TOSHIBA	280	JP
6	SIEMENS	241	DE
7	ROBERT BOSCH	211	DE
8	GEN ELECTRIC	165	US
9	NISSAN MOTOR	164	JP
10	HONDA MOTOR	161	JP
11	TOYOTA MOTOR	159	JP
12	LG ELECTRONICS	154	SK
13	YASKAWA ELECTRIC	145	JP
14	FUJITSU GEN	136	JP
15	ASMO	125	JP
16	SANYO ELECTRIC	107	JP
17	NIPPON DENSAN	106	JP
18	MINEBEA	104	JP
19	MITSUBA	102	JP
20	SWITCHED RELUCTANCE DR	55	GB

**Abbildung 31: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.9 Patent-/ Publikationsanalyse „Thermomanagement“

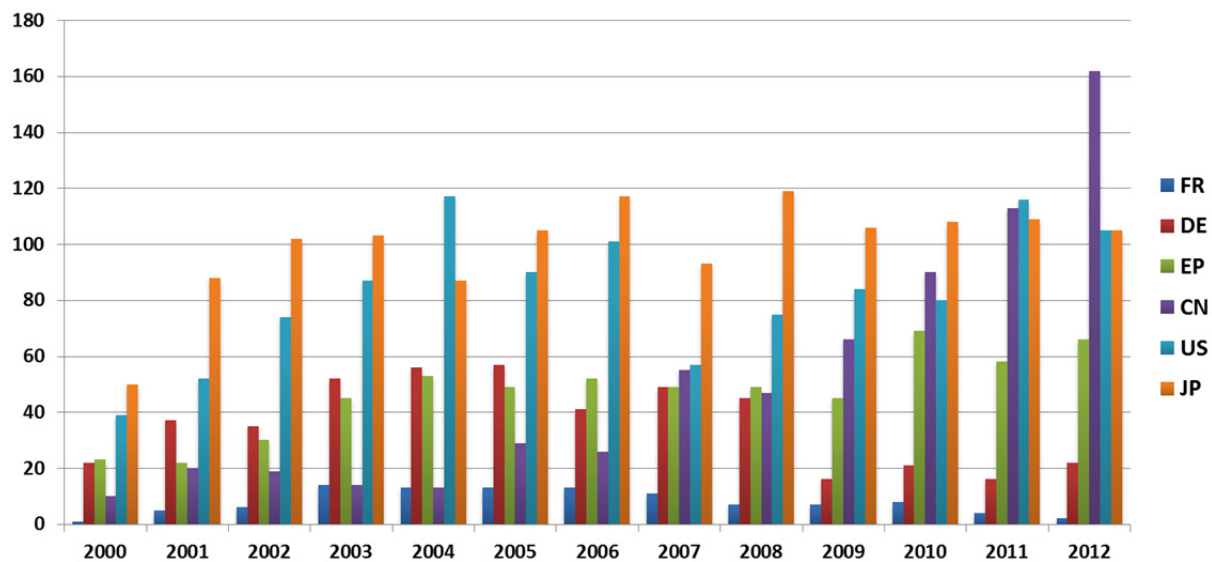
Bei einem Vergleich der Offenlegung von Patentschriften im Bereich „Thermomanagement“, die sich auf alle untersuchten E-Maschine-Bauformen beziehen und die Jahre 2000 bis 2012 umfassen, können insgesamt ca. 4.200 Patente in den verschiedenen Weltregionen identifiziert werden (siehe Abbildung 32). Der japanische und US-amerikanische IP-Markt führen dabei bei der Gesamtanzahl relativ deutlich (ca. 1.300 bzw. 1.100 Patente) vor dem chinesischen Markt (ca. 660), Europa (ca. 600), Deutschland (ca. 470) und Frankreich (ca. 100).

Wiederum sind z.T. extreme Verschiebungen über die Jahre zu erkennen, so dass auch innerhalb dieses Technologiefelds die Bedeutung des chinesischen Markts insbesondere ab 2008 kontinuierlich anwächst und die USA erstmals im Jahr 2010 von Platz 2 verdrängt und in 2012 dann die Spitzenposition vor Japan und den USA einnimmt. China kann den Output über die Jahre um insgesamt über 1.600% steigern und

erreicht im Jahr 2012 einen Marktanteil von 35%, was einer Steigerung von 28 Prozentpunkten innerhalb des untersuchten Zeitraums entspricht.

Die Bedeutung des deutschen IP-Markts variiert während der Jahre 2000-2008 bei relativ konstanten Anteilen von 10% bis 15%, bricht aber im Jahr 2009 dramatisch ein. So fällt sowohl die Gesamtzahl der in Deutschland angemeldeten Patente von ca. 50 auf nur noch 15 als auch der Anteil am Gesamtmarkt innerhalb eines Jahres von ca. 13% auf 5%. Bis ins Jahr 2012 ergeben sich dann keine nennenswerten Veränderungen und der Marktanteil sinkt sogar noch leicht weiter bis auf 4,7% ab. Bis ins Jahr 2012 verliert Deutschland damit über 10% Marktanteil.

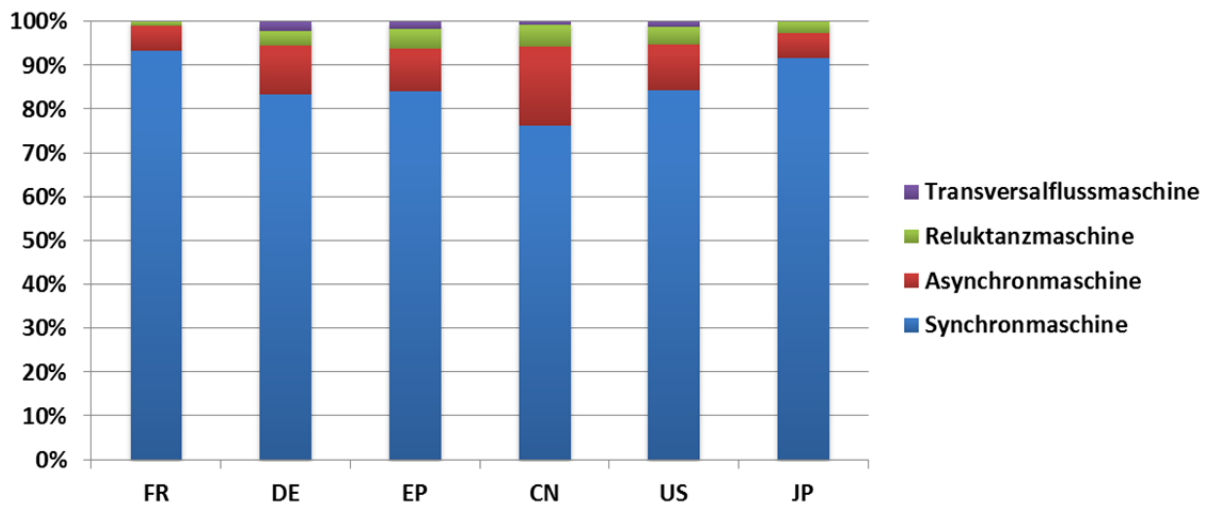
Auch der japanische Markt verliert zugunsten Chinas an Marktanteilen und fällt von 35% im Jahr 2000 auf 29% in 2010 und nur noch 23% in 2012. Er befindet sich damit auf dem exakt gleichen Niveau wie der amerikanische Markt. Dennoch ist Japan bei Betrachtung des gesamten Zeitraums führend. Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Veröffentlichungszahlen um knapp 260% zu verzeichnen (145 zu 376).



**Abbildung 32: Anzahl Patente im Bereich „Thermomanagement“ für alle Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Der größte Anteil an Patentschriften zum Thermomanagement ist mit ca. 3.600 der Synchronmaschine zuzuordnen, gefolgt von der Asynchronmaschine mit ca. 400, der Reluktanzmaschine mit ca. 150 und der Transversalflussmaschine mit nur noch ca. 40.

Wie in Abbildung 33 zu sehen, sind die Patentanteile für die einzelnen Bauformen über die Weltregionen relativ ähnlich verteilt und fokussieren stark auf Erfindungen im Bereich Synchronmaschine. Bemerkenswert ist dabei, dass sich sowohl Frankreich als auch Japan zu über 90% auf diese Technologie fokussieren, während Länder wie Deutschland und die USA, insbesondere aber China, breiter aufgestellt sind und auch Lösungen zur Asynchron-, Reluktanz- sowie (in sehr geringen Anteilen) Transversalflussmaschine als schützenswert definieren. Auch hier ist zu sehen, dass China über die untersuchten Länder hinweg die größten Anteile bei der Asynchronmaschine aufweist.



**Abbildung 33: Anteil Patente im Bereich „Thermomanagement“ für Bauformen nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die führenden Institutionen im Bereich „Thermomanagement“ über alle E-Maschine-Bauformen hinweg stammen aus Japan, so dass die TOP5 von Mitsubishi, Denso, Hitachi, Matsushita (bzw. Panasonic) sowie Toshiba gestellt werden. Diese 5 Unternehmen haben insgesamt 553 inhaltlich relevante Erfindungen im Portfolio und besitzen damit fast 60% aller in den TOP20 identifizierten Patentschriften. Wiederum sind auch hier mit Nissan auf Rang 7, Honda auf 8 und Toyota auf Platz 11 neben Mitsubishi weitere japanische OEMs im Ranking vertreten.

Bestplatziertes deutsches Unternehmen ist die Siemens AG auf Rang 6 mit 49 Erfindungen und die Robert Bosch GmbH, das die TOP10 mit 34 Erfindungen komplettiert. Erstmals schafft es im Rahmen dieser Analysen ein Unternehmen aus Frankreich in die Rangliste der aktivsten Patentanmelder, so dass Valeo auf Rang 13 anzutreffen ist. Auch chinesische Institutionen sind mit Yongji Xinshisu auf Rang 19 (6 Erfindungen) und Wuxi Thongda Motors auf Platz 18 (9 Erfindungen) in dieser Rangliste vertreten.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	mitsubishi denki	206	JP
2	denso	183	JP
3	hitachi	59	JP
4	matsushita electric ind	57	JP
5	toshiba	53	JP
6	siemens	49	DE
7	nissan motor	47	JP
8	honda motor	44	JP
9	gen electric	39	US
10	robert bosch	34	DE
11	toyota motor	30	JP
12	lg electronics	29	SK
13	valeo electriques moteur	24	FR
14	kokusai denki	20	JP
15	rohm	16	JP



16	AISIN SEIKI	16	JP
17	DAIKIN IND	11	JP
18	WUXI ZHONGDA MOTORS	9	CN
19	YONGJI XINSHISU ELECTRIC EQUIPMENT	6	CN
20	YASKAWA ELECTRIC	5	JP

**Abbildung 34: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

## 2.10 Patent-/ Publikationsanalyse „Permanentmagnete“

Im Bereich „Permanentmagnete“ werden im Folgenden alle Patentschriften analysiert, die sich auf die Bauformen Synchronmaschine, Reluktanzmaschine sowie Transversalflussmaschine beziehen. Das Suchfeld hier ist erweitert und beinhaltet dementsprechend auch Erfindungen, die über die Anwendung im elektrifizierten PKW hinausgehen.

Der mit Abstand größte Anteil der insgesamt 18.400 identifizierten Patentschriften befasst sich mit Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine (ca. 16.700, 91%), gefolgt von der Reluktanzmaschine (ca. 1.400; 8%) und der Transversalflussmaschine (ca. 170; 1%).

Führender Markt für Patentanmelder zu Permanentmagneten in Verbindung mit der Synchronmaschine ist Japan, auf dem über den untersuchten Zeitraum hinweg ca. 6.300 Patente angemeldet wurden, mit einem Peak von 666 in 2011. Obwohl insgesamt führend, verliert Japan über die Hälfte des Marktanteils und stürzt von 52% im Jahr 2000 auf nur noch 24% in 2012 ab. Die USA folgen mit ca. 3.500 angemeldeten Patenten und über die Jahre relativ konstanten Marktanteilen zwischen 22% und 19%. Auf dem dritten Platz kann China mit knapp 3.200 Patenten und einer Steigerung des Patentoutputs von über 1.800% über die Jahre identifiziert werden. Der Marktanteil Chinas steigt dementsprechend von 3% in 2000 auf 39% in 2012. Allein in diesem Jahr wurden fast 1.000 Patente auf dem chinesischen Markt angemeldet und damit über ein Drittel mehr als in Japan.

Bei Permanentmagneten in Verbindung mit der Reluktanzmaschine sind die Anteile ähnlich verteilt. Auch hier ist Japan insgesamt führend (ca. 550 Patente), verliert aber insgesamt 29 Prozentpunkte Anteil bis 2012, während China den Output auf dem eigenen Markt von 0 in 2000 auf über 70 in 2012 steigern kann und damit in diesem Jahr fast doppelt so viele Patentschriften zu verzeichnen hat wie Japan. Der Marktanteil in China wächst von 0% auf 43% innerhalb von 12 Jahren an.

Erfindungen, die sich auf Permanentmagnete in Verbindung mit der Transversalflussmaschine beziehen sind über die Jahre relativ gering thematisiert, so dass insgesamt nur ca. 170 Patente in diesem speziellen Bereich existieren. Deutschland ist dabei mit über 52 Patenten führend, gefolgt von den USA (40), Europa (36), Japan (21), China (18) und Frankreich (2).

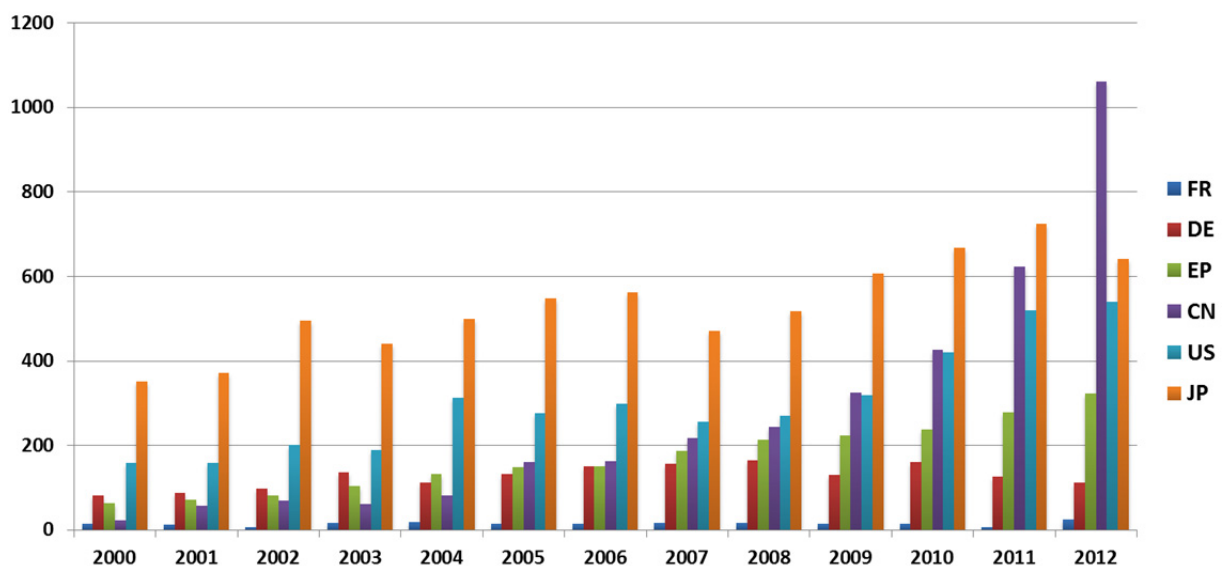
Über alle betrachteten E-Maschine-Bauformen hinweg nach Weltregion und über den Zeitraum 2000 bis 2012 ist insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Patentzahlen zu verzeichnen, wobei mit knapp 2.700 Patenten des Maximum im Jahr 2012 erreicht wurde, wie in Abbildung 35 zu sehen.

Während auf dem japanischen IP-Markt insgesamt die meisten Patente angemeldet und offengelegt wurden (6.894) und die USA mit 3.916 Patenten den zweitwichtigsten Platz für Patentanmelder einnimmt, wächst die Bedeutung des chinesischen Marktes ab dem Jahr 2004 kontinuierlich an und entwickelt ab 2009 eine beachtliche Dynamik, so dass die USA erstmals im Jahr 2009 vom zweiten Rang abgelöst werden kann. Im Jahr 2012 ist der chinesische Markt dann sogar mit Abstand Spitzenreiter. Auch der europäische Markt kann einen kontinuierlichen Anstieg der Patenzahlen vorweisen, während Deutschland nach einem Anstieg bis 2008 wieder rückläufige absolute Zahlen und relative Marktanteile aufweist.

Im direkten Vergleich der Patentsituation der Jahre 2000 und 2010 ist ein Anstieg der Anmeldezahlen um knapp 280% zu verzeichnen (690 zu 2.700), wobei insbesondere China und Europa Marktanteile gewinnen und von 3% auf 22% (China) sowie 9% auf 12% (Europa) ansteigen.

Die USA und Deutschland verlieren bis zum Jahr 2010 geringe Anteile (2% bzw. 4%) und besitzen dann noch 8% bzw. 21%. Der größte Verlierer in diesem Technologiefeld ist Japan, das 15% Marktanteil verliert, mit knapp 35% aber nach wie vor mit Abstand führend ist. Bis ins Jahr 2012 verliert Japan dann noch weitere Marktanteile und entspricht nur noch 24% des Gesamtmarkts.

Gleichzeitig wurden in diesem Jahr auf dem chinesischen Markt über 1.050 Patentschriften offengelegt. Innerhalb von 12 Jahren konnte China den Patent-Output um über 4.800% steigern und erreicht in 2012 einen Marktanteil von 39%. Deutschland dagegen kann in 2012 nur ein Zehntel der chinesischen Patentzahlen vorweisen, verliert insgesamt 8% Marktanteil und entspricht nur noch 4% des Gesamtmarkts.



**Abbildung 35: Anzahl Patente im Bereich „Permanentmagnete“ für Synchron-, Reluktanz- und Transversalfussmaschine nach Weltregion über Zeit, 2000-2012**

Die TOP20 der aktivsten Unternehmen im Bereich „Permanentmagnete“ sind in folgender Abbildung 36 dargestellt.

Insgesamt dominieren japanische Institutionen die TOP10 mit 9 von 10 Unternehmen beinahe komplett, nur die Siemens AG schafft es mit 236 Erfindungen auf Rang 7. Mitsubishi und Toshiba führen das Ranking mit 475 bzw. 381 Erfindungen an, gefolgt von Matsushita (374), Hitachi (347) und den OEMs Honda Motor (242) sowie Nissan Motor (236). Auch Toyota ist in diesem Technologiefeld stark aufgestellt und belegt den neunten Platz mit 187 Erfindungen.

Die Robert Bosch GmbH komplettiert aus deutscher Sicht auf Rang 11 und 162 Erfindungen die Rangliste. Während US-amerikanische Unternehmen in dieser Untersuchung in den TOP20 nicht zu identifizieren sind, schafft es eine chinesische Forschungsinstitution mit 11 Erfindungen auf Rang 16 unter den führenden Patentanmeldern gelistet zu werden.

Rang	Institution	Anzahl Inventionen	Land
1	MITSUBISHI DENKI	475	JP
2	TOSHIBA	381	JP
3	MATSUSHITA ELECTRIC IND	374	JP
4	HITACHI	347	JP
5	HONDA MOTOR	242	JP
6	NISSAN MOTOR	236	JP
7	<b>SIEMENS</b>	<b>236</b>	<b>DE</b>
8	YASKAWA ELECTRIC	194	JP
9	TOYOTA MOTOR	187	JP
10	DENSO	183	JP
11	<b>ROBERT BOSCH</b>	<b>162</b>	<b>DE</b>
12	DAIKIN IND	139	JP
13	FUJITSU GEN	136	JP
14	LG ELECTRONICS	132	SK
15	ASMO	128	JP
16	HARBIN INST TECH	111	CN
17	MINEBEA	103	JP
18	KOKUSAN DENKI	97	JP
19	MEIDENSHA	97	JP
20	SEIKO EPSON	87	JP

**Abbildung 36: TOP20 Patentanmelder im Bereich "Wicklungen" nach Anzahl der Erfindungen**

### 3 Ausblick

Die dargestellten Auswertungen zu Patent-/ Publikationsanalysen werden im Rahmen des Technologie-Monitorings der STROMbegleitung dazu verwendet, die Forschungslandschaft im Bereich „Elektrische Maschinen im Antriebsstrang elektrifizierter PKW“ zu untersuchen und Thesen zum Stand der Technik, Forschungsschwerpunkten, der technologischen Position und Wettbewerbsfähigkeit einzelner Weltregionen abzuleiten, um so die Grundlage für Handlungsempfehlungen zu erarbeiten.

Die untersuchten Themenfelder orientieren sich insbesondere an den im Rahmen der einzelnen STROM-Projekte behandelten Themengebieten und Interessen der STROM-Teilnehmer und werden im weiteren mit Ergebnissen aus den Regionalstudien, insbesondere mit Analysen zu Förderschwerpunkten und -strategien im internationalen Vergleich ergänzt.

Bei Fragen und/ oder Anregungen wenden Sie sich jederzeit gerne an

Benjamin Frieske

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)  
Institut für Fahrzeugkonzepte | Fahrzeugsysteme und Technologiebewertung  
Pfaffenwaldring 38-40  
70569 Stuttgart

Telefon +49 (0)711 6862 623

Telefax +49 (0)711 6862 258

[Benjamin.Frieske@dlr.de](mailto:Benjamin.Frieske@dlr.de)